



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL PUERTO DEL ROSARIO

Trabajo realizado por:
Irati Salaberria Oyarzun

Dirigido:
Cesar Vidal
Amador Gafo

Titulación:
**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, Septiembre de 2019

TRABAJO FIN DE MASTER

Autor: Irati Salaberria Oyarzun

Director: Cesar Vidal Pascual

Convocatoria: Septiembre 2019

Palabras clave: Puerto, Muelles, Dique

Este proyecto realiza un análisis de la construcción de un nuevo Puerto en Puerto del Rosario, Fuerteventura, que resuelva las necesidades futuras del Puerto.

Al tratarse de una isla, cualquier medio de transporte con el exterior tiene vital importancia en el ámbito socioeconómico, y especialmente un puerto.

En un primer momento se ha analizado la isla y sus características con el fin de determinar posibles ubicaciones del Puerto. Se ha descrito el área de implantación del proyecto para una mejor comprensión del proyecto constructivo.

El estudio de la morfología, tanto terrestre como marítima también es importante ya que restringe la definición del puerto. Por lo tanto, se ha analizado la geología, la geotecnia, la batimetría y la tipología de los fondos en cuanto a la parte terrestre y el nivel del mar y el oleaje exterior en cuanto al clima marítimo exterior. Se procede a estudiar los regímenes del oleaje en profundidades indefinidas cerca del punto que se desea estudiar.

Además, este estudio permite determinar que necesidades (industria...) existen en Fuerteventura para así poder establecer qué mercancías se transportan y por tanto qué requerimientos tendrá que cumplir el futuro puerto. Esto permite también estudiar en qué subáreas se dividen las dársenas interiores, los metros cuadrados necesarios y los tipos de embarcaciones que se amarran.

Así, se llega a establecer varias alternativas que satisfagan las necesidades del puerto. Se describen varias detalladamente con el fin de ofrecer diferentes opciones que satisfagan en mayor o menor medida los condicionantes operativos del proyecto. Se necesita también considerar el carácter general y operativo de las obras, que se describe minuciosamente.

Se describen las alternativas y se realiza un análisis multicriterio para comparar todos los aspectos de cada opción. Así, se escoge la más adecuada a los requerimientos.

Una vez establecida una opción de estudio, se describe la opción y se procede a calcular las dimensiones del puerto. Como se conocen los regímenes en profundidades indefinidas, se propaga dicho oleaje hasta la zona interior del puerto. Una vez conocidos estos valores en el interior del puerto, se disponen de los datos necesarios para el dimensionamiento de los elementos del puerto: obras de abrigo (diseño funcional y último), obras interiores.

Author: Irati Salaberria Oyarzun

Director: Cesar Vidal Pascual

Call: Septiembre 2019

Key words: Harbour, Breakwater, Pies

This project proposes an analysis of the construction of Rosario's port in Fuerteventura, that satisfies the future necessities of the island.

As the studied area is a port, any communication method is very important and affects the socioeconomic aspect of it.

First, the island and its features are analysed, so the possible ubications of the new port can be determinate. So, the area has been described and the possible locations found. The morphology of the Surface and the maritime characteristics have been defined: the geology, geotechnics, bathymetry, the sea levels as well as the typology of underwater ground. Plus, the waves at undefined depths have been studied, in the average values and the extremal terms.

The existing industry in the area has been studied to determine the goods transported and the volume of them. This way the necessary areas of the internal port have been established. The subdivision of it needs to be defined also thanks to the study (the type of boats, dimensions...): the square meters assigned to each area and goods.

With all this information, several options have been proposed and described. The development of each of them has been done thinking of the several requirements that need to be accomplished.

A multicriteria study is proposed to analyse each of the options with the same criteria. This allows to make a more objective choice, and this is determined and described more specifically on the following chapters.

Once the new configuration of the port is known, the waves are spread to the interior of the port. This will permit to know the waves inside (high, direction period...). These values as well as some loads given by the Spanish maritime standards allow to dimension the different elements that compose the port. All the methodology and the calculations are detailed.

Finally, all these values are verified using the verification coefficients for slipping and overturn to ensure the dimensions are correct and the operability is safe.

Índice de contenido

1.	ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
1.1.	HISTORIA DE LA CIUDAD	7
1.2.	HISTORIA DEL PUERTO.....	10
1.3.	ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS	13
1.4.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	13
2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO.....	15
2.1.	CANARIAS.....	15
2.2.	PUERTO DEL ROSARIO	16
3.	DATOS DEL TERRENO	19
3.1.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA	19
3.1.1.	INTRODUCCIÓN	19
3.1.2.	GEOLOGÍA.....	19
3.1.3.	GEOTECNIA.....	24
3.2.	BATIMETRÍA	27
3.2.1.	INTRODUCCION	27
3.2.2.	ENTORNO GENERAL DEL PUERTO	28
3.2.3.	ZONA DE ESTUDIO DEL PUERTO	29
3.3.	TIPOLOGÍA DE LOS FONDOS.....	29
4.	CLIMA MARITIMO EXTERIOR	32
4.1.	NIVEL DEL MAR Y REGÍMENES.....	32
4.1.1.	RÉGIMEN MEDIO DEL NIVEL DE MAREA ASTRONÓMICA	32
4.1.2.	MAREA METEOROLÓGICA.....	35
4.1.3.	ROTURA DEL OLAJE	38
4.1.4.	MÁXIMO NIVEL DEL MAR	38
4.2.	OLEAJE EXTERIOR Y REGÍMENES	39
4.2.1	DATOS	39
4.2.2.	REGÍMENES DE OLAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS	40
4.2.3.	REGÍMENES MEDIOS EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS.....	43
4.2.4.	REGÍMENES EXTREMALES EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS.....	45
5.	ESTUDIO SOCIOECONÓMICO.....	47
5.1.	DEMOGRAFÍA	47
5.2.	TURISMO	48

5.3.	ECONOMÍA.....	51
5.4.	VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	51
5.4.1.	PUERTOS.....	52
5.4.2.	AEROPUERTO.....	52
5.4.3.	CARRETERAS	52
6.	CONDICIONANTES OPERATIVOS DEL PROYECTO.....	54
6.1.	INTRODUCCION	54
6.2.	REQUERIMIENTOS EN ALZADO Y PLANTA.....	54
7.	CARÁCTER GENERAL Y OPERATIVO DE LAS OBRAS	56
7.1.	CRITERIOS GENERALES.....	56
7.1.1.	CARÁCTER GENERAL DE LAS OBRAS	56
7.1.2.	CARÁCTER OPERATIVO DE LA OBRA	57
7.1.3.	ROM 1.0-09.....	58
7.2.	PERIODO DE RETORNO	59
8.	ESTUDIO DE LAS NECESIDADES PARA EL DISEÑO EN PLANTA DEL PUERTO.....	60
8.1.	CONDICIONANTES OPERATIVOS DEL DISEÑO	60
8.1.1.	REQUERIMIENTOS DE PLANTA Y ALZADO	60
8.2.2.	CONDICIONANTES LÍMITE DE OPERACIÓN	63
9.	DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....	64
9.1.	DESCRIPCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL PUERTO	65
9.2.	ALTERNATIVA 1.....	67
9.2.1.	ALTERNATIVA 1A.....	67
9.2.2.	ALTERNATIVA 1B.....	69
9.3.	ALTERNATIVA 2: PUERTO ACTUAL Y PUNTA DEL GAVIOTO	70
9.3.2.	DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	70
9.3.3.	DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PUERTO	70
9.4.	ALTERNATIVA 3: LA HONDURA	72
9.4.1.	DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	72
9.4.2.	DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PUERTO	72
9.5.	ALTERNATIVA: OTRAS UBICACIONES.....	73
9.5.1.	DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	74
9.5.2.	DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA	74
9.6.	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....	75
10.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA.....	77
11.	PROPAGACIÓN DEL OLEAJE EN EL INTERIOR DEL PUERTO. REGÍMENES.....	78

11.1. PROPAGACIÓN DE OLEAJE	78
11.1.1. MODELO NUMÉRICO DE PROPAGACIÓN	78
11.1.3. MALLA DE PROPAGACIÓN.....	79
11.2. REGÍMENES DE OLEAJE EN EL PUERTO	80
11.2.1. REGÍMENES MEDIOS	80
11.2.2. RÉGIMENEXTREMAL	82
12. DISEÑO FUNCIONAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO (OPERATIVIDAD DE LAS DÁRSENAS) ...	84
12.1. OBRAS DE ABRIGO	84
12.2. OBRAS INTERIORES	88
13. DISEÑO ÚLTIMO DE LAS OBRAS DE ABRIGO	93
13.1. CONTRADIQUE: DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIONES.....	93
13.1.1 Mantos: principal y secundario	94
13.1.2. ESPALDÓN	97
13.2. DIQUE VERTICAL: DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIONES	102
13.3. BANQUETA DE APOYO	109
13.4. CONTRADIQUE	111
14. DISEÑO DE LAS OBRAS INTERIORES	114
15.CONCLUSIONES.....	119
ANEJO 1 EXPLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE PROPAGACION	
ANEJO 2 ESQUEMAS DE LOS DIQUES CALCULADOS	

Índice de figuras

Figura 1: Detalle del mapa de 1885	7
Figura 2: Evolución de la población en Puerto del Rosario desde 1860.	8
Figura 3: Evolución de cruceros en el puerto de Puerto del Rosario.....	9
Figura 4: Evolución del número de buques pesqueros entre 1994 y 2009.....	10
Figura 5: Ubicación del Puerto del Rosario.	11
Figura 6: Configuración en planta del actual Puerto de Rosario	12
Figura 7: Fotografía aérea del Puerto del Rosario	12
Figura 8: Situación de Canarias en el mapa peninsular en España.	15
Figura 9: Situación del archipiélago en el contexto global.....	16
Figura 10: Situación de la isla de Fuerteventura dentro de la Comunidad Autónoma de Canarias.	17
Figura 11: Fuerteventura, la isla más próxima a África, y su pequeño islote de Lobos.	17
Figura 12: Puerto del Rosario y su puerto	18
Figura 13: Geomorfología de las principales islas de Las Islas Canarias.	21
Figura 14: Mapa geológico general de Fuerteventura.....	22
Figura 15: Mapa geológico en detalles de la zona de Puerto del Rosario.	24
Figura 16: Localización vibrocores.	26
Figura 17: Afloramiento rocoso.....	27
Figura 18: Batimetría del entorno de Puerto del Rosario.	28
Figura 19: Batimetría de la zona de estudio.....	29
Figura 20: Ficha técnica vibrocore 7.	30
Figura 21: Ficha técnica vibrocore 8.	31
Figura 22: Altitud de los vibros 5, 7 y 8.	31
Figura 23: Esquema de niveles de marea.....	32
Figura 24: Función de distribución del régimen medio de nivel de marea astronómica.....	34
Figura 25: Función de densidad del régimen medio de nivel de marea astronómica.	34
Figura 26: Régimen medio de carreras de marea en Las Palmas.	35
Figura 27: Rosa de vientos.....	36
Figura 28: Probabilidad acumulada del viento	37
Figura 29: Localización del punto SIMAR 4056015.....	40
Figura 30: Figura Rosa de oleaje proporcionada por Puertos del Estado de 1958 a 2008.	41
Figura 31: Frecuencia del oleaje por dirección de procedencia.	41
Figura 32: Rosa de viento global.....	42
Figura 33: Frecuencia de las alturas de ola.	43
Figura 34: Frecuencia de los periodos de pico.	43
Figura 35: Régimen medio escalar de la altura de ola significativa en profundidades indefinidas.	44
Figura 36: Régimen medio escalar del periodo de pico en profundidades indefinidas.	44
Figura 37: Régimen extremal de altura de ola significativa en profundidades indefinidas.	45
Figura 38: Régimen extremal del periodo de pico en profundidades indefinida.	46
Figura 39: Régimen extremal de la altura de ola significativa.	46
Figura 39: Evolución de la población en Puerto del Rosario.	47
Figura 40: Clasificación de la población de Puerto del Rosario por grupos de edad.	47
Figura 41: Clasificación de la población de Puerto del Rosario por sexos.	48
Figura 42: Distribución de turistas por meses y años.	49

Figura 43: Clasificación de Turistas por país de origen.	50
Figura 44: Clasificación de turistas por motivos de estancia en el año 2016.	50
Figura 45: Factores que hacen variar el nivel del mar.	60
Figura 46: Amarre de las embarcaciones en las dársenas.	63
Figura 47: Ubicación del Puerto del Rosario.	65
Figura 48: Configuración en planta del actual Puerto de Rosario.	66
Figura 49: Fotografía aérea del Puerto del Rosario.	67
Figura 50: Alternativa 1A.	68
Figura 51: Alternativa 1B.	70
Figura 52: Alternativa 2.	71
Figura 53: Alternativa 3.	72
Figura 54: Localización del puerto de Gran Tarajal.	73
Figura 54b: Solucion adoptada	74
Figura 55: Solución adoptada en planta.	77
Figura 56: Zonas y áreas del puerto.	78
Figura 57: Imagen de conjunto de la malla utilizada.	79
Figura 58: Ajuste del regimen medio a Weibull de Mínimos.	81
Figura 59: Régimen medio de altura de ola significativa a pie de contradique.	82
Figura 60: Probabilidad de no excedencia frente a altura de ola significativa a pie del dique de abrigo.	83
Figura 63: Probabilidad de no excedencia frente a altura de ola significativa en el contradique.	83
Figura 64: Papel probabilístico de Gumbel	83
Figura 64: Francobordo de un dique.	85
Figura 66: Límites ofrecidos por Franco et al (1994).	86
Figura 67: Comparación de las diferentes alturas de francobordo y las condiciones de operabilidad.	87
Figura 68: Caudal de rebase frente a francobordos	88
Figura 69: Áreas en el interior del puerto	91
Figura 70: Dique en talud con sus elementos correspondientes. Espaldón, manto principal, manto secundario.	93
Figura 71: Distribución de las presiones que afectan al dique.	97
Figura 72: Distribución de las presiones que afectan al espaldón.	98
Figura 73: Relación H/L con μ	100
Figura 74: Método de Goda: presiones afectando a la estructura.	103
Figura 75: Presiones hidrostáticas que se ejercen sobre el dique.	106
Figura 76: Las dos leyes del terreno por efecto del nivel freático.	107
Figura 77: Estudio de Tanimoto.	110
Figura 78: Gráfica altura de ola y periodo de pico a pie de dique	115
Figura 79: Esquema de distribución de las presiones hidrostáticas.	115
Figura 80: Leyes de presiones del terreno.	116

Índice de tablas

Tabla 1: Componente armónica de la marea en las Palmas.	33
Tabla 2: Probabilidad de no excedencia del viento.	37
Tabla 3: Tabla Altura significativa (Hs) - Dirección de procedencia.	42
Tabla 4: Número de habitantes por intervalos de edad.	48
Tabla 5: Máxima probabilidad de fallo.	57
Tabla 6: Garantías de operatividad.	58
Tabla 7: Vida útil de un puerto comercial-IRE.	58
Tabla 8: Probabilidad de fallo de un puerto comercial-ISA.	58
Tabla 9: Dimensiones buque tipo.	62
Tabla 10: Longitud de atraque y anchura de dársena según configuración para buque tipo.	62
Tabla 11: Condiciones límite de operación (tabla 8.1 de la ROM 3.1-99).	63
Tabla 12: Ponderación de los criterios.	64
Tabla 13: Evaluación de las alternativas.	64
Tabla 14: Comparativa de las diferentes opciones.	75
Tabla 15: Coeficientes de reflexión en función del tipo de muelle.	80
Tabla 16: Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre.	90
Tabla 17: Altura de ola máxima por área.	91
Tabla 18: Cumplimiento de los límites considerando un coeficiente de reflexión del 90%	92
Tabla 19: Cumplimiento de los límites considerando un coeficiente de reflexión del 45%	92
Tabla 20: Distribución del oleaje de Rayleigh.	94
Tabla 21: Tabla de Losada Y Desiré para la función de estabilidad.	95
Tabla 22: Distribución del oleaje de Rayleigh.	98
Tabla 23: Formulación de Coulomb empleado en la presión de terrenos.	108
Tabla 24: Distribuciones del oleaje de Rayleigh.	112
Tabla 25: Características de los materiales.	114
Tabla 26: Determinación de los empujes activos. Teoría de Coulomb.	117
Tabla 27: Tabla de la ROM que muestra los valores mínimos de sobrecarga de almacenamiento.	118

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Las islas Canarias han conocido un aumento del turismo, de su industria y por tanto de su economía. Así es el caso también de Fuerteventura, y por tanto de la capital de la Isla, la ciudad de Puerto del Rosario, que ha crecido notoriamente. Asimismo, se ha desarrollado hasta convertirse en la potencia económica de la isla. Dicho crecimiento implica un aumento del tráfico del Puerto del Rosario.

1.1. HISTORIA DE LA CIUDAD

La Isla de Fuerteventura, municipio de la Comunidad Autónoma de Canarias, es una provincia de Las Palmas. De sus seis municipios en los que se divide a nivel administrativo, Puerto del Rosario es el más importante. Dentro de este municipio se encuentra una ciudad del mismo nombre, la cual es la capital de la isla, y la ciudad más grande a nivel poblacional de la misma, con 37.363 habitantes censados en el año 2015. Con una extensión de 289,95 km, se halla en la región este del municipio, en la costa, y consta de una trama urbana organizada entorno a la línea de costa adyacente a la ciudad. El puerto comercial destaca como foco organizativo del entramado.

Puerto del Rosario aparecía ya en las cartografías del siglo XV como un embarcadero denominado Puerto de Cabras debido a un pequeño asentamiento constituido por los pastores que llevaban a sus rebaños de cabras a apacentar y abreviar a la franja de la bahía.

En la figura 1 se puede ver el detalle del mapa de Puerto del Rosario.



Figura 1: Detalle del mapa de 1885

Con el tiempo, este asentamiento sigue creciendo ganando importancia dentro de la isla. A finales del siglo XVIII se construyeron las primeras casas que formaban una pequeña aldea del municipio de Tetir . En 1894 ya tenían su propio muelle.

1860 es un año relevante para la ciudad ya que remplace a La Oliva como capital de la isla. A partir de entonces, al recoger las actividades principales de comercio, jurisdicción, administrativas y portuarias de la zona, sigue creciendo a lo largo de los años como se ve en la figura 2 mostrado a continuación:

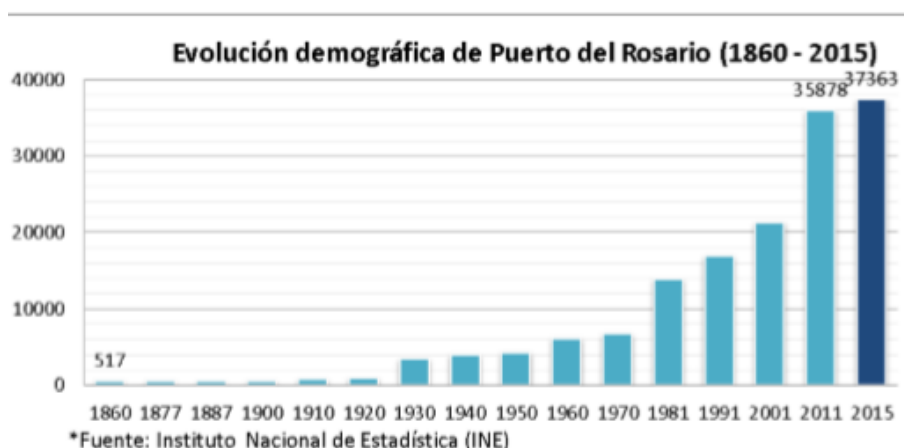


Figura 2: Evolución de la población en Puerto del Rosario desde 1860.

Se observa que hasta 1920, a pesar del cambio a capital, no consigue el impulso necesario para un mayor crecimiento. Es principalmente el clima árido el que impide este desarrollo, ya que impide la existencia de materia prima para la instauración de industria y no supone un entorno atractivo para la vivienda.

Sin embargo, todo esto varía entre 1920 y 1930, cuando se adhieren numerosas localidades como Tetir o Casillas del Ángel. En este mismo momento, tanto el municipio como la ciudad pasan a denominarse Puerto del Rosario. Además, en esta misma década se realiza la ampliación del muelle comercial y se construye el depósito de aguas La Charca con el fin de abastecer la instalación portuaria.

Al finalizar la Guerra Civil española, y durante la época de la segunda guerra mundial, se produjo una reurbanización de la zona: en el Puerto del Rosario se construyeron cuarteles y barriadas de los militares y del Carmen, se acondicionó el primer aeródromo de uso civil y militar en los llanos de Tefía, se reformó la presa de Los Molinos y se construyó la Colonia Rural García Escámez (Las Parcelas) para poner en explotación las zonas eriales cercanas al Mancomún de Las Salinas y Jarugo. Asimismo, cerca de allí se puso también en funcionamiento la Colonia Agrícola Penitenciaria que funcionaría en las décadas de 1950 y 1960.

El siguiente cambio se observa entre 1970 y 1980, más concretamente en 1976. Entonces se produce el fin de la dictadura española, y llega a la isla el Tercio Don Juan de Austria 3º de la Legión debido a la descolonización del Sahara. Es decir, llegaron alrededor de tres mil efectivos con sus familias, incrementando así notoriamente la demografía de la ciudad, más concretamente, duplicándola.

Así el Puerto del Rosario se convierte en la referencia de la Isla de Fuerteventura, y se deduce que el desarrollo económico y social se realizará en esta zona.

Finalmente, a finales del siglo XX, el turismo emerge con gran fuerza, principalmente europeos, algunos de estos llegando incluso a instalarse definitivamente. Su fama aumenta con los años, por lo tanto lo hace la población. El atractivo recae en un clima soleado con elevadas temperaturas la mayor parte del año y una baja densidad de población. Es necesario, por tanto, mejorar las vías de comunicación, así como la construcción y el sector primario de la isla.

La isla dispone de dos vías de comunicación principales: el puerto y el aeropuerto. En el primero es de gran relevancia el transporte de turistas con cruceros, y como se ha mencionado

previamente, al ser el turismo un punto clave de la economía de la ciudad, se disponen de numerosas instalaciones para abarcar dicha actividad. En la Figura 3 se puede observar la evolución de cruceros en el puerto de Puerto del Rosario.



Figura 3: Evolución de cruceros en el puerto de Puerto del Rosario.

Desde un punto de vista económico, la ciudad es el centro de la isla tanto en lo comercial, como de lo industrial, así como de lo cultural, de ocio y turismo. Las actividades que han generado ingresos en la ciudad: agrícola, ganadería, transportes y turismo, siguen presentes hoy en día.

En lo concerniente al producto exportado desde la isla se presentan los siguientes gremios:

- **Agrícola:** Puerto del Rosario dispone de 62 hectáreas de tierra labrada. EL comercio y la exportación han permitido una mejora de dicho gremio. Se realizan cultivos de secano como el cereal (principalmente maíz), la leguminosa y la alfalfa. Estos requieren terrenos llanos, además del agua de escorrentía producida por las brucas lluvias que inunda los terrenos. A su vez se realiza un cultivo de regadío con hortalizas, árboles frutales y patatas. Como bien es sabido también existe una producción de uvas y de olivos.
- **Ganadería:** el ganado caprino es el más común en la isla ya que supone tres cuartas partes del ganado.
- **Pesca:** se trata de una ciudad costera por lo tanto es lógico que existan enclaves pesqueros donde se pescan pescado blanco y negro gracias al rico recurso marino que la isla ofrece. Se realiza pesca con caña desde la costa también con caña. Es curioso señalar que emplean cuerno de cabra, limado y pulido, como puntero en el extremo de la caña, con el fin de asegurar sus capturas. Se ha mencionado este gremio pero, desde un punto de vista de volumen de mercancía exportado, no supone una gran cantidad, y su peso es relativamente bajo en comparación con los demás. Además, su pronóstico no es favorable, su previsión es descendente y no existen instalaciones tales como Lonjas pesqueras o zonas donde desembarcar el pescado fresco.

En la figura 4 se puede comprobar la evolución del número de buques pesqueros entre 1994 y 2009.



Figura 4: Evolución del número de buques pesqueros entre 1994 y 2009.

Todos estos se exportan a través del puerto, principalmente a las demás islas.

Pero le punto más fuerte de la isla y ende de la ciudad y del puerto es el turismo, el sector servicios y la distribución de mercancías de gran tonelaje, como los cementos. Así las ampliaciones han ido encaminadas a reforzar estas actividades y no a la pesca. No obstante, se posiciona como la tercera ciudad más turística de la isla de Fuerteventura.

Por último, se recalcan ciertas actividades industriales como la industria del cemento. El puerto debe ser capaz por tanto de poder exportar e importar gráneles tanto sólidos como líquidos, contenedores con mercancías. Es un sector que se debe tener en cuenta a la hora de determinar la ampliación y su uso del puerto. Además, para la futura instauración de más industria de este tipo, se debe ampliar las zonas de almacenamiento, carga y descarga de contenedores y gráneles.

1.2. HISTORIA DEL PUERTO

El puerto, llamado inicialmente Puerto de Cabras, se halla en el Noroeste de la isla de Fuerteventura, Canarias. El nombre actual lo obtiene de la ciudad en la que se ubica, la capital, Puerto del Rosario.

Anteriormente, el transporte de mercancías y su carga y descarga a la isla se realizaba en la ensenada entre la Punta del Viejo y la Punta del Viento. Sus abrigadas condiciones naturales permitían a los barcos fondear en sus aguas, y mediante lanchas se llegaba a la orilla. En 1889, se construyó un muelle de atraque donde se realizaban las operaciones de carga y descarga. A continuación se construyeron otros tramos de ampliaciones de ese muelle hasta conformar lo que hay en la actualidad. Además, en 1985 finalizó la construcción de una dársena pesquera.

EN la figura 5 a continuación se puede ver la ubicación de la ciudad estudiada en la isla.



Figura 5: Ubicación del Puerto del Rosario.

Este puerto recibe mercancía general, así como buques de cruceros de turismo. Dispone de un kilómetro de longitud de atraque con calados que varían desde los 3 metros hasta los 12 metros. En la zona de atraque el calado mínimo es de 5 metros (en los muelles más próximos al arranque del espigón), y 15 metros en las posiciones de atraque de las embarcaciones portacontenedores y de granel líquido (Gas). En la figura 6 se ve la configuración en planta de la actual Puerto del Rosario.

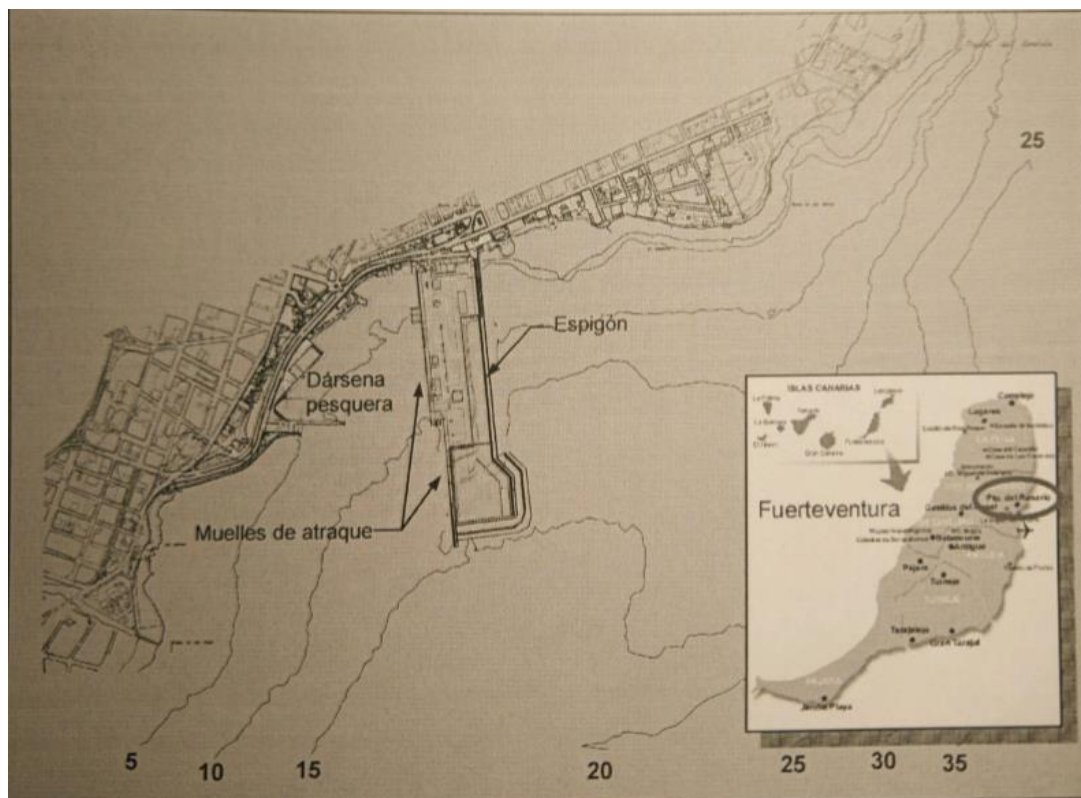


Figura 6: Configuración en planta del actual Puerto de Rosario

Como se observa en la imagen anterior el Puerto del Rosario se compone de un espigón orientado hacia el Sur. Este tiene 680 m de longitud y una anchura media de 150 m. Este proporciona 550 metros de muelle. Los objetivos de este muelle son proporcionar abrigo necesario para las maniobras de atraque, carga y descarga, mientras que por otro lado cumple la función de muelle de atraque, incluyendo el tránsito y almacenamiento de mercancías y pasaje. En esta imagen se puede observar también la superficie de agua protegida por el espigón (27 Ha).

Asimismo, se puede observar la darsena pesquera anteriormente citada y el pantalán de atraque donde desembarcan los pasajeros y vehículos que llegan de otras islas del archipiélago Canario.

Además, en tierra dispone de 67.500 m² de tierra útil.

La figura 6 muestra una fotografía aérea de la zona estudiada.



Figura 7: Fotografía aérea del Puerto del Rosario

En esta figura 7 se observa la embarcación Ro-Ro donde se hallan las rampas para la descarga de vehículos, las instalaciones de descarga y almacenamiento de granel sólido, grúas para contenedores y tuberías de descarga de gas licuado, entre otros.

En esta fotografía se puede ver el último proyecto de ampliación del puerto. Para el presente proyecto se considera que dicha ampliación ya se ha finalizado.

1.3. ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

Este puerto ha sido declarado de interés general, es competencia exclusiva de la Administración del Estado, y forma parte de la Autoridad Portuaria de Las Palmas según el ANEXO 11 de la Ley 27/1992 de Puertos del Estado y de la Marina Mercante.

El tráfico del puerto se divide en dos grandes grupos, por un lado, el turismo y por otro el transporte de mercancías. El primer grupo aumenta hasta alcanzar en 2014 174.000 pasajeros. El segundo se ha visto alcanzado por la crisis: entre 1991 y 2014 se dobla el tonelaje de tránsito. Sin embargo, en 2005, antes de la crisis económica, se llega a mover 1.700.000 toneladas, frente a las 966.000 toneladas movidas en 2014, en plena crisis. Hoy en día, se considera que a las perspectivas de desarrollo de los tráficos va a aumentar, requiriendo así una mayor superficie de atraque, así como de un mayor calado ya que las dimensiones de los buques van a seguir aumentado a su vez.

Se hace notar también que este puerto por su disposición está muy resguardado de los vientos, así como de los temporales reinantes en la zona, por ello se han realizado varias ampliaciones del mismo puerto:

- 1) Primero los muelles de Cruceros, donde en un primer tiempo el espigón de abrigo se prolongó 100 metros, así el nuevo muelle de Cruceros quedaba resguardado y cumplía los requisitos de operatividad impuestos por la ROM. En un segundo tiempo se construyó el dique en cuestión de 305 metros de longitud situado a 300 metros de este paralelamente al dique de abrigo.
- 2) A continuación, se amplió el muelle del Rosario 100 m, con una explanada adosada de 28 Ha.

Así, hoy en día el Puerto dispone de 890 metros con el fin de abrigar los buques en sus maniobras de atraque, carga y descarga, así como el de poseer una plataforma adosada que cumple la función de muelle de atraque, incluyendo el tránsito y almacenamiento de mercancías.

De todo esto, se concluye que el puerto supone una zona estratégica para el crecimiento de la Isla socioeconómicamente. Por lo tanto, es necesario disponer de más espacio tanto marítimamente como en tierra, permitiendo así un mejor uso de las instalaciones y una mejor organización y gestión del Puerto.

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es definir un nuevo Puerto para la ciudad de Puerto del Rosario.

Para ello se procede en un primer instante a la descripción del área de implantación, descripción de los datos del terreno que se disponen (geología, geotecnia, batimetría y tipología de los fondos). Después se procede a describir el clima marítimo exterior, es decir el nivel del mar y los regímenes, el oleaje exterior y los regímenes.

No se olvida que para determinar los requerimientos del puerto, se debe estudiar socioeconómicamente la isla (demografía, económica, turismo...) y sus características (vías de comunicación...)

Con estos datos se puede establecer los condicionantes operativos del proyecto, así como el carácter general y operativo de las obras. También se realiza un estudio de las necesidades para el diseño.

De esta manera, se ofrece las mejores alternativas posibles, y se desarrollan. Una vez que se conozcan estas, se comparan y se escoge le mejor.

Se procede a detallar más específicamente esta nueva opción, y se calculan las nuevas dimensiones de los elementos que la componen.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo se procede a estudiar la localización, así como el entorno del proyecto, para que la solución se adopte mejor a los requisitos y los condicionantes.

2.1. CANARIAS

Canarias, archipiélago del océano Atlántico, constituye una comunidad autónoma española. Además, es una de las regiones ultraperiféricas de la Unión Europea. Históricamente, Canarias ha sido considerada un puente entre tres continentes; África, América y Europa. LA figura 8 muestra la situación de Canarias en el mapa de España.



Figura 8: Situación de Canarias en el mapa peninsular en España.

Situado entre las coordenadas 27°37' y 29° 25' de latitud norte y 13° 20' y 18° 10' de longitud oeste, el archipiélago está situado en el norte de África, cerca de las costas del sur de Marruecos y del Sahara. Se encuentra a 100 km de la costa africana(Marruecos concretamente, siendo la isla más cercana este continente), 90 km de la costa de Gran Canaria y a 940km de la costa europea. Por su localización geográfica, Canarias utiliza durante el invierno boreal la hora de Greenwich (UTC±0) y durante el verano boreal una más (UTC+1), con una hora de diferencia respecto al resto del país.

La figura 9 muestra las islas en un contexto más global.



Figura 9: Situación del archipiélago en el contexto global.

Esta comunidad se conforma en un archipiélago formado por siete islas principales (El Hierro, La Gomera, La Palma y Tenerife, que forman la provincia de Santa Cruz de Tenerife por un lado; y Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote, que constituyen la provincia de Las Palmas por otro lado) y una serie de islas de menor entidad y dimensión cercanas a las anteriores.

Su clima es subtropical, aunque varía localmente según la altitud y la vertiente norte o sur. Esta variabilidad climática da lugar a una gran diversidad biológica que, junto a la riqueza paisajística y geológica, justifica la existencia en Canarias de cuatro parques nacionales y que todas islas tengan reservas de la biosfera de la Unesco, y otras tengan zonas declaradas Patrimonio de la Humanidad. Estos atractivos naturales, el buen clima y las playas hacen de las islas un importante destino turístico, siendo visitadas cada año por cerca de 12 millones de personas.

La extensión total del archipiélago es 7447 km². Esta actualmente posee una población de 2.101.924 habitantes y una densidad de 284,46 hab/km², siendo la octava autonomía en población.

2.2. PUERTO DEL ROSARIO

Después de Tenerife, la isla es la segunda más extensa del archipiélago con 1.659 km² de superficie, y la segunda más oriental. Además, Fuerteventura es la isla más extensa de su provincia, y la de mayor longitud del archipiélago. En la última década, gracias al aumento del turismo (destacando Corralejo al norte y Punta de Jandía al sur), Fuerteventura ha conocido un aumento de población: así en 2017, la isla tiene una población de 110.299 habitantes, situándose como la cuarta isla más poblada del Archipiélago Canario.

La figura 10 muestra la localización de la isla dentro de su comunidad autónoma.



Figura 10: Situación de la isla de Fuerteventura dentro de la Comunidad Autónoma de Canarias.

Tiene un total de 340 km de costa, en donde se alternan zonas de acantilado (ubicados en su mayor parte en la región oriental de la isla), y zonas de litoral bajo, en donde cabe destacar la gran cantidad de playas que hay, que en general están bañadas por aguas no demasiado profundas. Cabe señalar que, al igual que en muchas otras islas del archipiélago, en Fuerteventura son escasos los abrigos naturales para embarcaciones. La figura 11 muestra la isla de Fuerteventura y sus principales localidades.



Figura 11: Fuerteventura, la isla más próxima a África, y su pequeño islote de Lobos.

La capital, situada en la costa oriental de la isla, es Puerto del Rosario, con 38.711 habitantes en el término municipal. Entre sus playas cabría hay que destacar la de Playa Blanca en el sur de la capital y la de Puerto Lajas y Playa de Los Pozos en el norte, que ofrecen las condiciones óptimas para la práctica de deportes acuáticos como el surf y el windsurf. La figura 12 es una fotografía aérea de la ciudad en cuestión.



Figura 12: Puerto del Rosario y su puerto

3. DATOS DEL TERRENO

3.1. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

3.1.1. INTRODUCCIÓN

Para este apartado se ha empleado la Hoja nº1092 Puerto del Rosario del Mapa geológico 1:25000 proporcionado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). AL norte de esta hoja se encuentra Tetir, al oeste Antigua y al Sur Punta del Muellito. Claramente, al este se encuentra el océano Atlántico.

Resulta necesario recordar que esta isla es volcánica: nacen del fondo del mar y se desarrollan durante millones de años hasta que emergen a la superficie.

En el caso que nos concierne, las islas Canarias han conocido épocas de actividad, así como de reposo, durante 10 millones de años. El tipo de roca por tanto que se encuentra en la isla es ígneo. Estas rocas volcánicas, magmas, son de dos tipos, básicos y alcalinos.

Estos magmas provienen de la fusión de las rocas del manto o de la corteza. Se componen químicamente de calcio y magnesio, y en menor porcentaje de sílice. Las rocas volcánicas que emergen son principalmente basálticas.

Su composición química varía cuando los magmas básicos ascienden a través de la corteza y llegan a la superficie terrestre, dando lugar a magmas alcalinos ricos en sodio y potasio. Al entrar en contacto con agua del mar o en superficie, los magmas alcalinos se solidifican formando rocas volcánicas como basaltos, traquitas o riolitas.

Sin embargo, las islas han conocido fenómenos destructivos como deslizamientos de grandes masas de rocas, que se ven claramente en el valle de la Orotava en Tenerife, en la Caldera de Taburiente y el Arco de Cumbre Nueva en La Palma, y en Roque Nublo en Gran Canaria.

Curiosamente, las rocas más antiguas de las Islas Canarias se encuentran en Fuerteventura y se formaron bajo el mar hace 23 millones de años.

3.1.2. GEOLOGÍA

La isla de Fuerteventura es de tipo intraplaca, de forma alargada en dirección noreste-suroeste, de más de 100 km de longitud y casi 30 km de anchura máxima.

Los eventos geológicos ocurridos desde el Cretácico Superior hasta hoy en día han permitido que en la isla se encuentren principalmente rocas de tipo volcánicas, así como sedimentarias e intrusivas. Se clasifican en dos grandes grupos: Dominio del Complejo Basal y al Dominio Subaereo, en función de sus características petrológicas y edad.

EL periodo de construcción más antiguo de la isla es el complejo Basal, y sus afloramientos se hallan en la parte centro-oriental. Las sedimentitas marinas de edad Cretácica son las rocas más antiguas. Estas se han formado en un ambiente oceánico profundo y se componen por turbiditas con intercalaciones de rocas calcáreas y silíceas. Toda la serie esta deformada y plegada. Inmediatamente sobre las sedimentitas se desarrolló una importante actividad volcánica submarina, que generó el nacimiento submarino de la isla. Esta corresponde a lavas y tobas basálticas y trasbasálticas submarinas.

Durante el Mioceno, entre los años 30 millones y 12 millones de años aproximadamente, tuvo lugar la fase Miocena, que corresponde a una fase de intensa actividad volcánica. Así se formó la estructura principal de la isla, aunque esta evolución se puede dividir en tres grandes edificios volcánicos: Tetir o Norte, Gran Tarajal o centro y Jandia o sur. Estas estructuras están compuestas de coladas basálticas de escasa potencia, intercaladas con escorias, piro clastos y aglomerados. Las coladas se encuentran buzando hacia el NW en el norte, hacia el Este en el centro y hacia el SE en el sur. El relieve de esta unidad es muy característico y corresponde a elevaciones alargadas y transversales, conocidas con el nombre local de “cuchillos”, debido a su intensa incisión y erosión.

Después de las erupciones volcánicas que dieron lugar a estos tres edificios, cesa la actividad hasta comienzos del Plioceno. Así, le sucede un periodo de 7 millones de año de procesos erosivos en los que las rocas volcánicas son erosionadas y modificadas morfológicamente. De este modo se establecieron las características generales del relieve actual de la isla. Una erupción durante el Plioceno inferior sobre el complejo Basal dio lugar a la formación del Morro Valdés.

La actividad volcánica prosigue en el Pleistoceno Inferior, y se sitúan sobre los cuchillos del mioceno en la mitad norte de la isla. Se forman edificios estrombolianos, de grandes dimensiones, compuestos por lapilli, escorias y bombas. Las formaciones más características de esta fase son: montaña Escanfraga, Montaña blanca, Llano del Pali y La Calderetilla. Al erupcionar las lavas de estos volcanes caen desde los relieves altos, deslizándose por los barrancos hasta la costa, donde entra en contacto con el mar y su temperatura, enfriándose, y formando extensas plataformas subhorizontales. Estas son de tipo basáltico olivinica y algunos presentan enclaves ultrabásicos como dunitas, lherzolita, etc.

Durante la fase Pleistocena Media-Holocena tienen lugar en la parte norte y central de la isla varios eventos volcánicos, de tipo fisural que se manifiesta en una distribución espacial alineada de los centros de emisión. Los edificios volcánicos hoy en día se mantienen bien conservados y sus coladas son los famosos “malpaíses”, erupciones basálticas donde predominan las lavas sobre los depósitos piroclásticos.

La geomorfología de la isla es mostrada en la figura 13 y el mapa geológico general en la figura 14..

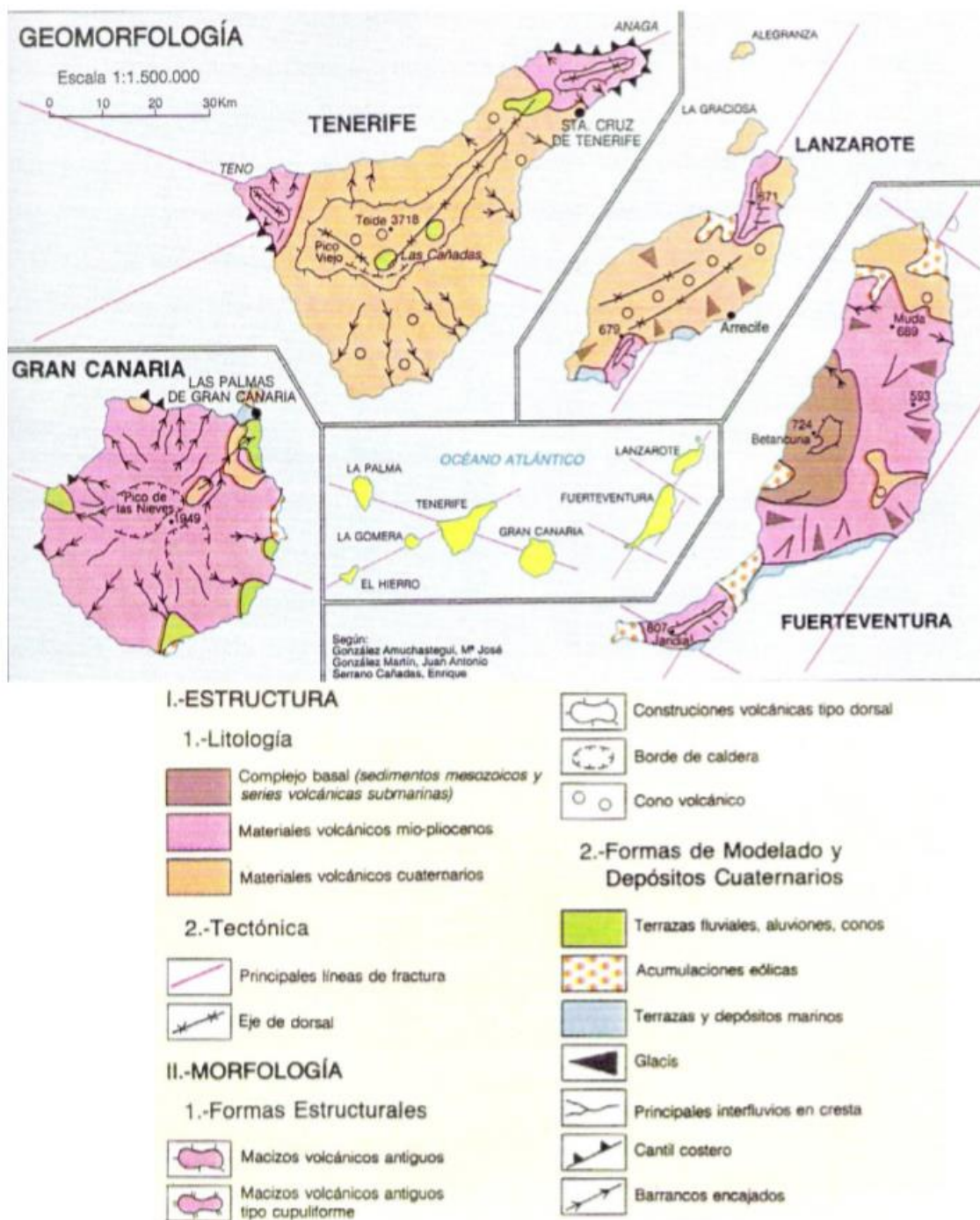


Figura 13: Geomorfología de las principales islas de Las Islas Canarias.



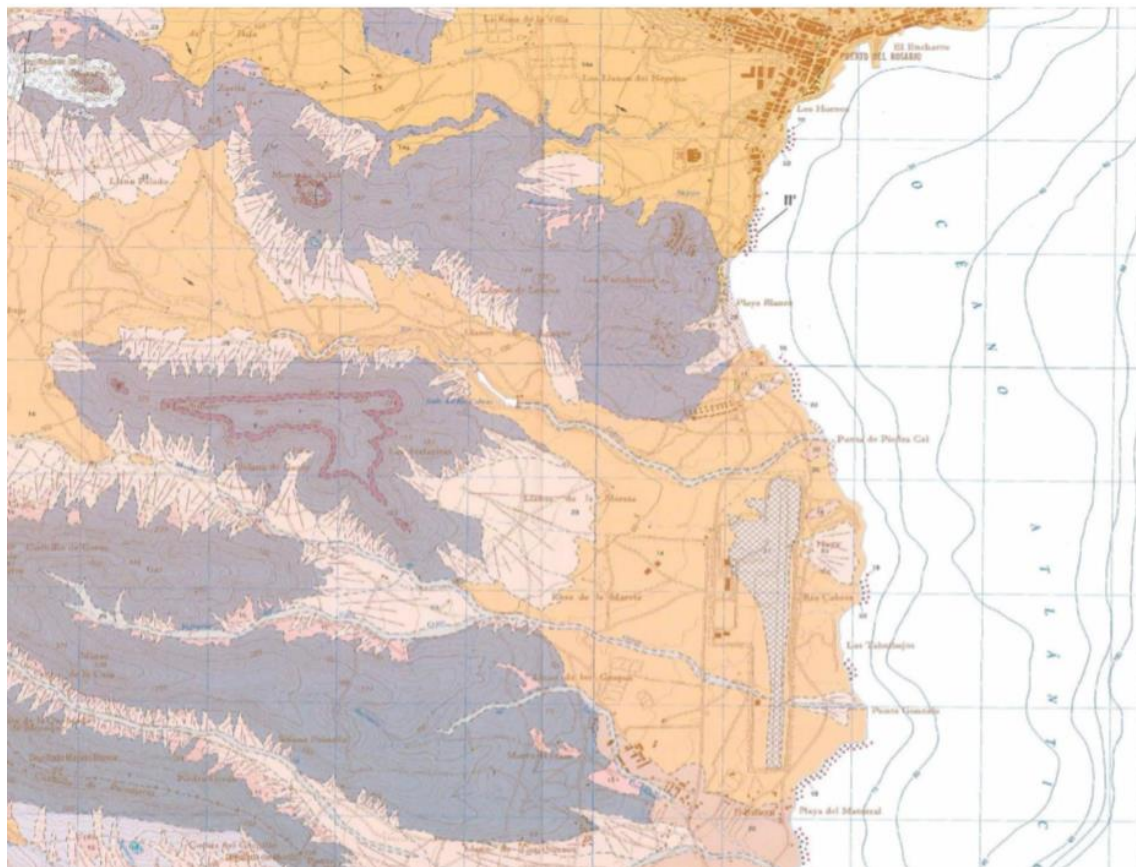
Figura 14: Mapa geológico general de Fuerteventura.

En cuanto a la geología en la zona del Puerto del Rosario, este se sitúa entre las erupciones volcánicas que tuvieron lugar en el Pleistoceno (1,8 millones de años) y sobre el Edificio Norte de la isla de Fuerteventura, formado hace más de 5 millones de años por basaltos subhorizontales y coladas basálticas en el Mioceno.

El mapa geológico siguiente de la zona de Puerto del Rosario (cuya ubicación dentro de la propia imagen se encuentra arriba a la derecha). La fuente de este mapa geológico es el Instituto Geológico y Minero de España. También se presenta una figura en la que se indica la leyenda del mapa geológico.



La siguiente imagen, la figura 15, ensena el detalle el mapa geológico de la zona del puerto del rosario.



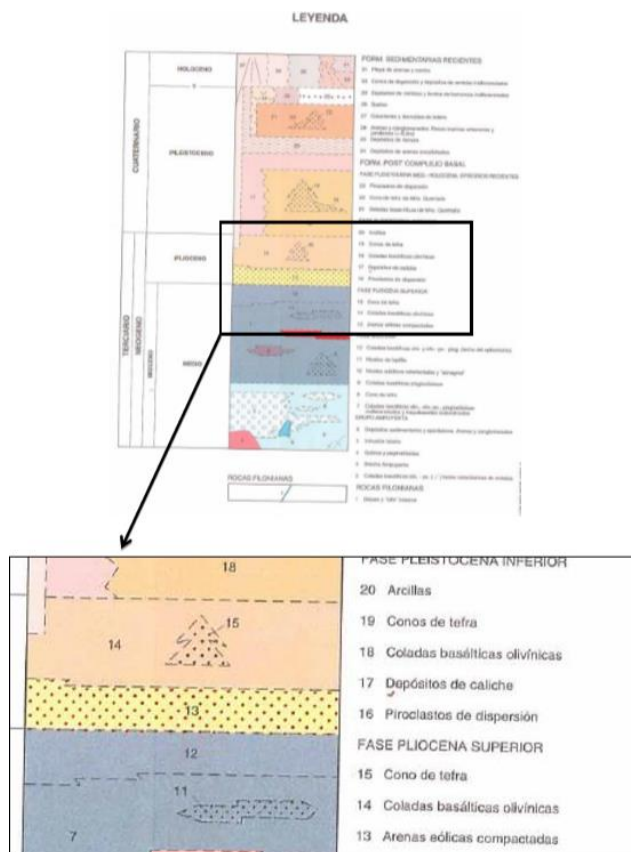


Figura 15: Mapa geológico en detalles de la zona de Puerto del Rosario.

3.1.3. GEOTECNIA

En marzo de 2002, la Autoridad Portuaria de Las Palmas realizó ensayos geotécnicos para el proyecto “Ampliación puntos de amarre en el muelle de cruceros del puerto de Puerto del Rosario”. Estos ensayos constan de una investigación geofísica y batimétrica, así como de una campaña de vibrocores.

3.1.3.1. Trabajos realizados

3.1.3.1.5. Geofísica

Los análisis realizados se compusieron de perfiles batimétricos, sísmicos y con sonar de barrido lateral.

El área analizada es de 1000x1000 metros que comprenden el interior del Puerto, 300 metros al este del muelle principal y 500 metros al sur de este.

Así, se obtuvieron las líneas de batimetría y perfilador perpendiculares a la costa cada 10 metros en el interior del Puerto y cada 20 metros en la zona exterior a este. Con el fin de obtener con precisión la batimetría del interior del Puerto, se realizaron líneas cada 10 metros paralelas al muelle y perpendiculares a las anteriores. Este trabajo se completó con líneas paralelas al muelle con el SONAR cada 75 metros y con una línea paralela a la costa a una cota lo menor posible que permitía el calado del barco.

Gracias a una ECOSONDA de tipo ODOM MKII, se recabaron los datos batimétricos a través de un registro y digitalizador. Las características de este equipo son las siguientes:

- trabaja a entre 24 y 200 Khz con una duración de pulso de 0,1 a 1 ms.

- su resolución es de ± 1 cm. para profundidades inferiores a los 100 metros y de 10 cm. en profundidades mayores.

Los resultados obtenidos se registran en un ordenador, que trabajando con un programa de navegación, permiten definir cada coordenada más una hora para posteriores correcciones de marea.

El estudio geofísico fue desarrollado por el equipo ORETECH PIPELINER modelo 3010P, también denominado PERFILADOR 3.5 Khz, que corresponde a la frecuencia típica de trabajo. Los resultados obtenidos se registran en un equipo EPC modelo GSP 1086. Al estribor del barco se colocó tanto el ecosonda como este registrador. Este estudio recubrió el área detalladamente y definir con precisión el techo de la roca.

A su vez, la investigación morfológica fue ensayada con un SONAR DE BARRIDO LATERAL DOWTY WIDESCAN II. Este sistema se compone por un “pez” que se lleva con un cable a una profundidad variable sobre el fondo de 4 y 10 metros. Se mide la distancia a la antena de posicionamiento. El “pez” estaba conectado a un módulo de filtro y control de ganancia, que a su vez conectaba a un registrador DOWTY 3500 de dos canales y papel térmico de 12 pulgadas. El sistema se basa en la emisión de pulsos con frecuencias 100/375 Khz. Esta emisión no penetra en el suelo y obtiene únicamente información superficial por la energía y la frecuencia utilizada. Así se logra algo semejante a una fotografía aérea del fondo marino, ya que cada uno de los materiales que componen el fondo generan una respuesta diferente, consiguiéndose distinguir cambios litológicos, y la posibilidad de cartografiarlos.

3.1.3.1.5. Campaña de vibrocores

Con el fin de conocer con precisión el fondo marino y gracias a la cercanía de los sondeos que se ejecutaron en 2002 para la ampliación de los amarres, se han cogido los datos de 12 sondeos marinos que se realizaron mediante vibrocores para ese proyecto, repartidos dentro del actual puerto, con tres metros de recuperación en el mejor de los casos. En la siguiente imagen, figura 16, el símbolo corresponde a la localización de los sondeos realizados.



Figura 16: Localización vibrocores.

El equipo, importado de Estados Unidos, es un 'Vibrocore Rossfelder' Cabezal productor de vibraciones para sondeos marinos.

Con las muestras que se obtuvieron se realizaron los ensayos de laboratorio correspondientes, en base a lo dispuesto en la R.G.M.D.: Análisis granulométricos y Análisis de Metales y Policlorobifenilos.

3.1.3.2. Resultados

Se puede observar que en una franja de 400 metros la roca está en superficie en la zona SW del área analizada. Esta roca se orienta en dirección N-S por 300 m. en su zona más ancha en dirección W-E y hasta una cota de 10 m. El resto de la zona que interesa se compone de material sedimentario. No se disponen de estudios en las zonas exactas donde se localizará el Nuevo Puerto, pero parece lógico deducir que bajo el material sedimentario se encuentra un terreno rocoso que dificulte las tareas de excavación. Esta capa de material sedimentario es generalmente uniforme, con un espesor de 5-6 metros hacia el exterior.

3.1.3.3. Conclusiones

De este estudio se dedujo la zona en la que afloraba la roca, próxima al nuevo puerto, por lo que a falta de datos más precisos se puede suponer que en la zona del puerto se pueden encontrar zonas rocosas. Asimismo, se reveló la presencia de material sedimentario en el resto de la zona, por tanto, la mayor parte de la zona de este proyecto predomina este tipo de material.

En la siguiente figura 17 se puede observar la ubicación del afloramiento rocoso, el área rayada situada en la esquina superior izquierda.

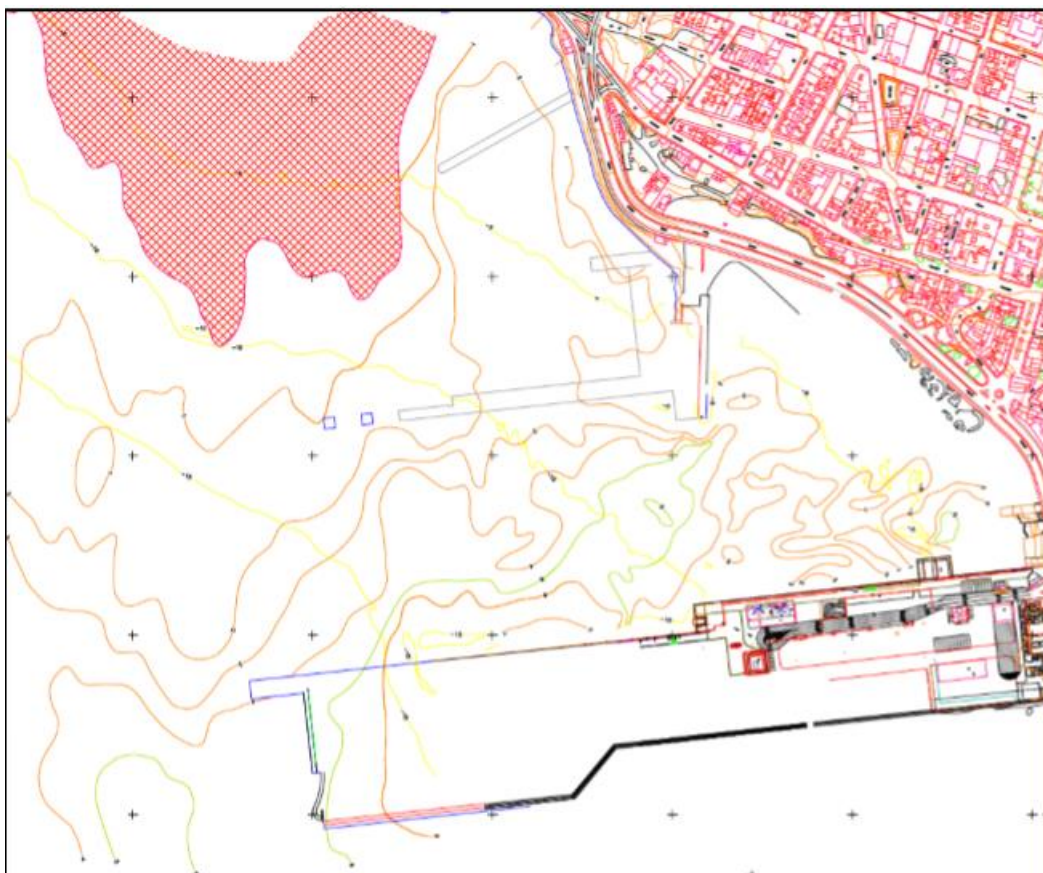


Figura 17: Afloramiento rocoso

En resumen, en este proyecto se va a suponer que se presentan arenas con finos, bien graduadas, con conchas y nódulos que aumentan su contenido y tamaño con la profundidad, según el estudio en laboratorio de las muestras que se recogieron en aquel estudio.

Además, con la campaña realizada se han obtenido los parámetros geotécnicos de los materiales:

- El ángulo de rozamiento interno se comprende entre 29° y 35°, según los ábacos de Terzaghi y Peck. Como aproximación para los cálculos se empleará el valor de $\phi=30^\circ$.
- La cohesión se supondrá nula, ya que el sedimento es arena. Esta hipótesis se coloca del lado de la seguridad.

3.2. BATIMETRÍA

3.2.1. INTRODUCCION

La batimetría influye de manera importante en la propagación del oleaje a la costa. Es por ello que es uno de los apartados más importantes en el estudio del proyecto. También es especialmente relevante en lo concerniente a las corrientes locales.

A continuación se procede a describir la batimetría local, tanto en el entorno como en la futura localización del puerto.

El grupo de Ingeniería Oceanográfica de la Universidad de Cantabria ha aportado la batimetría de este caso.

3.2.2. ENTORNO GENERAL DEL PUERTO



Figura 18: Batimetría del entorno de Puerto del Rosario.

De la imagen anterior, figura 18, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se diferencian dos zonas: uno más al norte entre la Punta del Gavioto y la Punta del Roque, y otro situado más al sur entre la Punta del Gavioto y la Punta del Roque, donde se sitúa la ensenada de Puerto del Rosario.
- El primer tramo se caracteriza por una ausencia de formaciones arenosas con una costa baja y rocosa y una batimetría muy pendiente orientada a dirección NNE-SSW. Asimismo, la costa presenta con numerosos salientes, entre los cuales se sitúan Punta del Gavioto, Punta de las Arenas y La Juanita, y entrante como la Rosa de las Arenas y la Rosa de Juana Sánchez.
- El segundo tramo es la que conforma la ensenada de Puerto del Rosario. A su vez se subdivide en dos partes: la zona ubicada más al Norte donde se presentan grandes calados de fondos arenosos y donde se ubicará el Puerto y una zona al Sur donde la forma arenosa emerge dando lugar a Playa Blanca.
- La zona de unión entre estos dos tramos, Punta del Gavioto, constituye un cabo submarino rocoso que separa la ensenada de Puerto del Rosario de la alineación general de la costa.

3.2.3. ZONA DE ESTUDIO DEL PUERTO

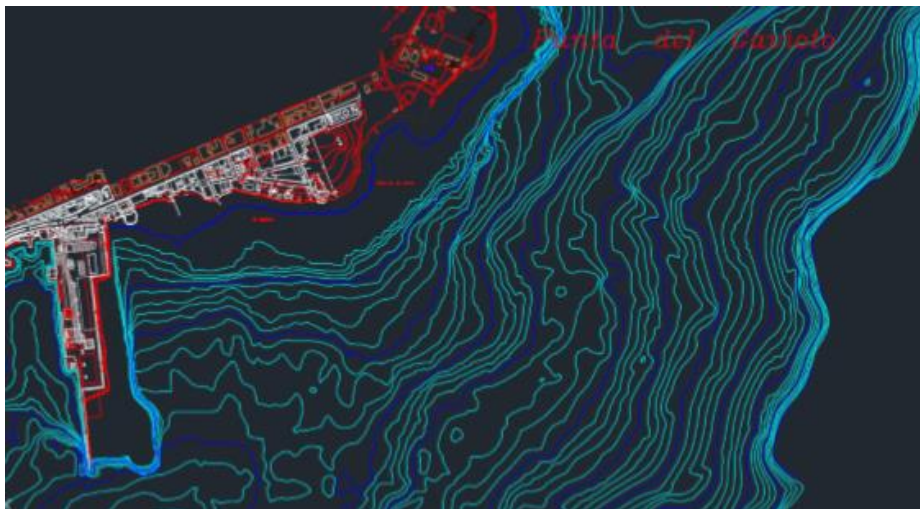


Figura 19: Batimetría de la zona de estudio.

- La zona de la Punta del Gavioto es un cabo submarino rocoso que diferencia la ensenada de Puerto del Rosario de la alineación general de la costa.
- La plataforma continental no alcanza los 2 km frente a la Punta del Gavioto. Sin embargo, frente a la bahía del Puerto del Rosario se llegan a 4 km.
- Una zona muy somera entre las batimétricas 10 – 15 con una de pendiente 1/125 es a la que da lugar dicho cabo submarino. Esta plataforma sumergida hace que la citada batimétrica 15 esté ubicada a más de 1.000 m de la costa.
- Por el contrario, en la zona Este del citado cabo submarino existe un cantil de pendiente extrema que ubica la batimétrica 15 a tan solo 180 m de la costa.
- Al Oeste de la zona somera, zona de ubicación del actual Puerto, la batimetría se hace más regular y los fondos se tornan arenosos. La profundidad media de la zona protegida por el actual dique de abrigo se ubica en el entorno de los 8 metros.
- En esta zona abrigada existe una pequeña playa, Playa de los Pozos, de escasa utilización como uso lúdico dadas sus degradadas condiciones.
- En el extremo Sur de la zona de detalle, Punta de los Pozos desemboca un pequeño barranco.

3.3. TIPOLOGÍA DE LOS FONDOS

Como se ha mencionado previamente la zona está compuesta por roca y material sedimentario. Dicho sedimento podría tener diferentes tamaños de arena, pero no se observaron variaciones de reflectividad, por lo que el tamaño es uniforme en la zona. Asimismo, tampoco se observaron fuertes taludes ni objetos.

En la campaña de vibrocores realizada se observó homogeneidad litológica y granulométrica, sin importantes variaciones entre ellos, ni horizontalmente ni verticalmente. La única dificultad se encontró en el vibro nº3, el que tras varios intentos sin recuperar testigo se recuperó 0,5 m y en el extremo presentaba gravas, con cantos de 2-3 cm. Esta alteración puede ser debida a su localización, muy próxima al atraque de los Ferrys, donde el fondo está muy alterado.

Se puede por ello concluir que el material sedimentario no consolidado hallado en los fondos del puerto es ARENA FINA NEGRA en superficie, mientras que en profundidad el tipo de sedimento es ARENA FINA GRISÁCEA con un mayor contenido en conchas y en nódulos carbonatados. Dichas conchas y nódulos, que pueden llegar a alcanzar el tamaño de la grava, es la razón de la variación granulométrica, así como del tono grisáceo de la arena a mayor profundidad. Con la excepción de las muestras superficiales de las cucharas Van Veen y de los vibros F-1 y F-5, que contenían más del 10% de finos. A continuación, como se ha mencionado previamente los resultados de la campaña de los vibros son semejantes, por lo que se presentan las fichas técnicas de dos de los vibros que se ejecutaron en las figuras 20 y 21. Además se muestra también la altitud de los vibros 5,7 y 8 en la figura 22..

FICHA TÉCNICA DE VIBROCORE					F-7		
OBRA: PUERTO ROSARIO.					JUNIO 2002		
PROFUND. METROS	ESPESOR ESTRATO	COLUMNA LITOLÓGICA	TOMA DE MUESTRAS				NATURALEZA DEL TERRENO
			D-50	D-16	% FINOS	% CONCHAS	
0,00			0,16	0,25	19,5	5	ARENA FINA NEGRA MAYOR PORCENTAJE DE CONCHAS A MAYOR PROFUNDIDAD
0,25			0,15	0,24	22,7	10	
0,50			0,17	0,24	15,2	10	
0,75			0,17	0,25	13,1	10	
1,0			0,17	0,30	12,5	20	
1,25			0,18	0,44	15,1	20	
1,50			0,19	0,39	11,3	20	
1,75			0,21	0,69	9,2	15	
2,0							FIN VIBRO
2,25							
2,50							
2,75							
3,00							

Figura 20: Ficha técnica vibrocore 7.

FICHA TÉCNICA DE VIBROCORE						F-8	
OBRA: PUERTO ROSARIO,						JUNIO 2002	
PROFUND. METROS	ESPESOR ESTRATO	COLUMNA LITOLÓGICA	TOMA DE MUESTRAS				NATURALEZA DEL TERRENO
			D-50	D-10	% FINOS	% CONCHAS	
0,00			0,20	0,49	17,6	5	ARENA FINA NEGRA
0,25			0,17	0,49	27,9	10	
0,50			0,17	0,46	31,1	10	
0,75			0,20	0,70	19,1	10	ARENA FINA GRISÁCEA CON MAYOR PORCENTAJE DE CONCHAS A MAYOR PROFUNDIDAD
1,0			0,19	0,40	24,1	10	
1,25			0,21	0,94	17,2	10	
1,50			0,21	0,60	16,7	20	
1,75			0,19	0,60	24,5	20	
2,0			0,19	0,53	18,9	25	CONCHAS TAMAÑO GRAVA
2,25			0,19	0,40	18,5	25	
2,50							FIN VIBRO
2,75							
3,00							

Figura 21: Ficha técnica vibrocore 8.

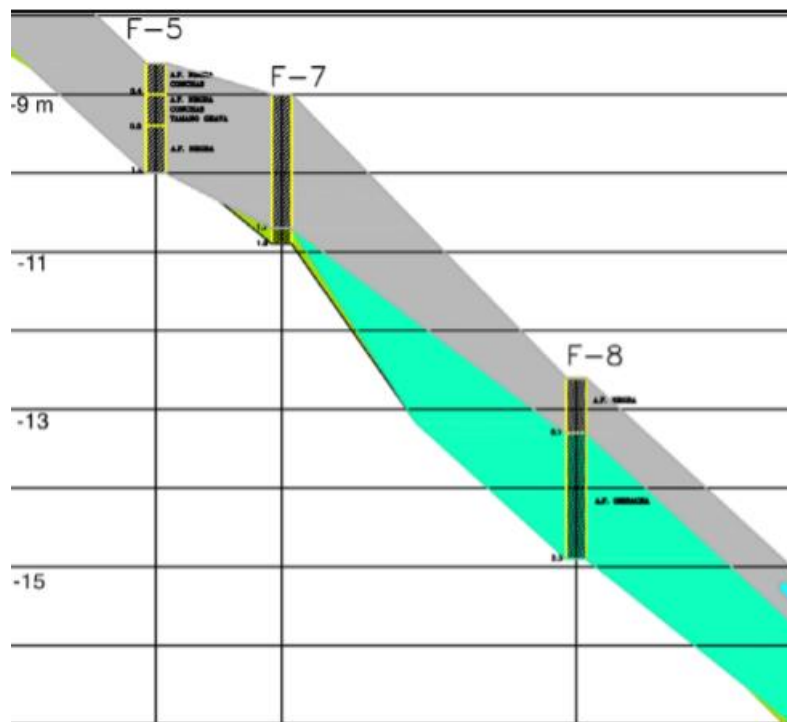


Figura 22: Altitud de los vibros 5, 7 y 8.

4. CLIMA MARITIMO EXTERIOR

4.1. NIVEL DEL MAR Y REGÍMENES

Uno de los parámetros fundamentales para el diseño de las obras marítimas es el nivel del mar. La determinación de este permite, entre otras cosas, indicar la altura a la que se puede situar el área de tierra en el puerto (cotas de muelles y explanadas), así como el dimensionamiento de los diques de abrigo, manteniendo siempre la operatividad y la seguridad para su funcionalidad.

El mareógrafo localizado en el Puerto de Las Palmas, que forma parte de del Programa de Clima Marítimo (P.C.M), proporciona la información necesaria para calcular este parámetro.

El P.C.M publica las constantes armónicas principales de la marea y los principales niveles de referencia, basados en los datos del mareógrafo.

Para obtener este, se precisan los factores más relevantes responsables de las variaciones del nivel del mar. Estos son:

- Marea astronómica: variable determinista predecible en cualquier momento.
- Marea meteorológica. variable aleatoria.
- Sobreelevación por rotura del oleaje.
- Sobreelevación por viento.

Antes de nada, se realiza una breve descripción del Nivel Medio del Mar en el Puerto del Rosario (NMM), en comparación a la referencia dada por el nivel medio del mar en Alicante (NMMA). EN la figura que se adjunta se representan estos dos así como el Cero del Puerto (CP), los niveles de la Pleamar Media Viva Equinocial (PMVE) y de la Bajamar Viva Equinocial (BMVE). El siguiente esquema, figura 23, muestra los niveles de marea y las alturas de los diferentes niveles citados previamente.

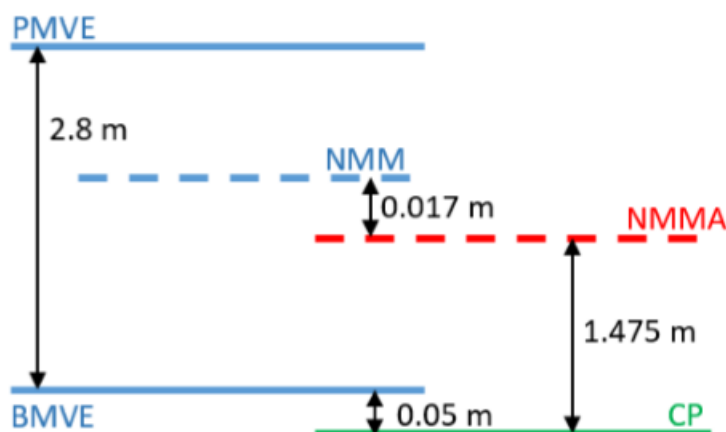


Figura 23: Esquema de niveles de marea

4.1.1. RÉGIMEN MEDIO DEL NIVEL DE MAREA ASTRONÓMICA

El factor más relevante para la determinación del nivel del mar de cálculo es la marea astronómica. EL origen de este es la atracción que ejercen la Luna y el Sol sobre las aguas de los océanos.

Este se calcula con base en las componentes armónicas principales publicadas por el PCM que se muestran en la tabla 1 siguiente:

Nº	Componente	Frecuencia w_i [°/hr]	Amplitud a_i [m]	Fase ϕ_i [°]
1	O1	13.94304	0.048	292.35
2	P1	14.95893	0.017	34.23
3	S1	15.00000	0.020	358.86
4	K1	15.04107	0.062	38.98
5	M2	28.98410	0.766	27.54
6	S2	30.00000	0.292	51.15
7	K2	30.08214	0.082	48.55
8	N2	28.43973	0.157	13.24

Tabla 1: Componente armónica de la marea en las Palmas.

Con la información de las amplitudes que se dispone, se genera una serie temporal que se analiza estadísticamente y con la que se construye el régimen del nivel de marea astronómica, así como la distribución de probabilidad de la carrera de marea.

Para ello, se calcula nivel de la marea como la suma de las componentes armónicas a través de la ecuación:

$$\eta = a_0 + \sum_{i=1}^8 a_i \cos(w_i t - \phi_i)$$

Siendo:

η la cota de la superficie libre

a_0 el nivel medio respecto al cero del puerto

a_i la amplitud de la i-ésima componente

w_i la frecuencia de la i-ésima componente

t es el tiempo

ϕ_i la fase de la i-ésima componente

Se debe tener en cuenta que la serie temporal debe ser lo suficientemente larga con el fin de incluir el efecto conjunto de todas las componentes.

Así, se obtiene el régimen de nivel de marea astronómica, incluidas sus funciones de densidad y de distribución. En las figuras 24, 25 y 26, se muestran respectivamente la función de distribución del régimen medio de nivel de área astronómica, la función de densidad del régimen medio de nivel de marea astronómica así como el régimen medio de carreras de marea en Las Palmas.

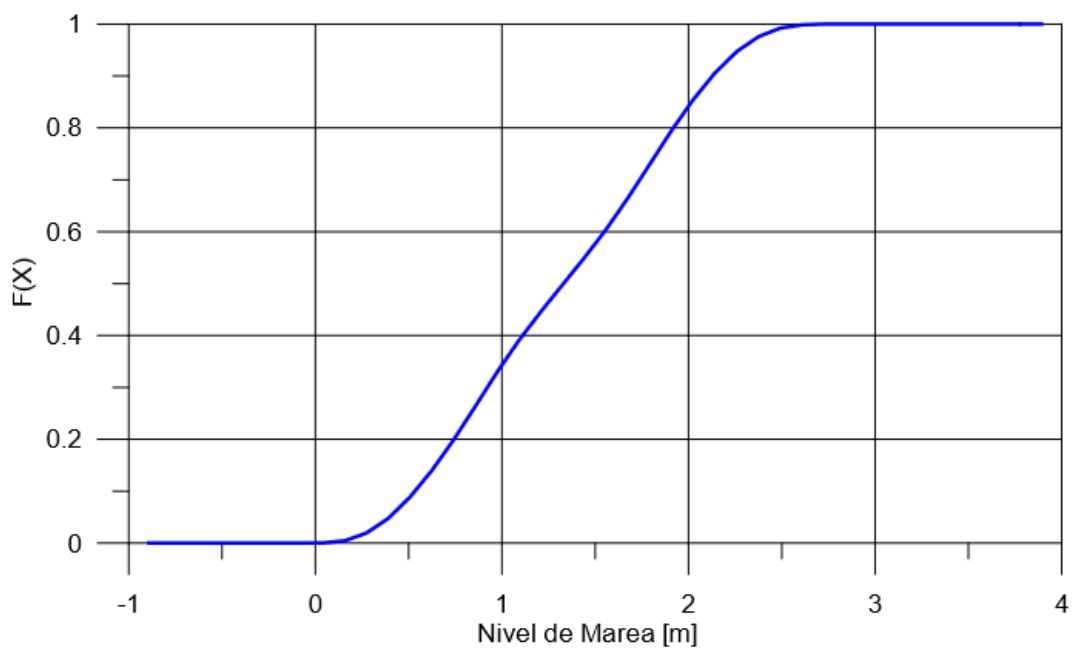


Figura 24: Función de distribución del régimen medio de nivel de marea astronómica.

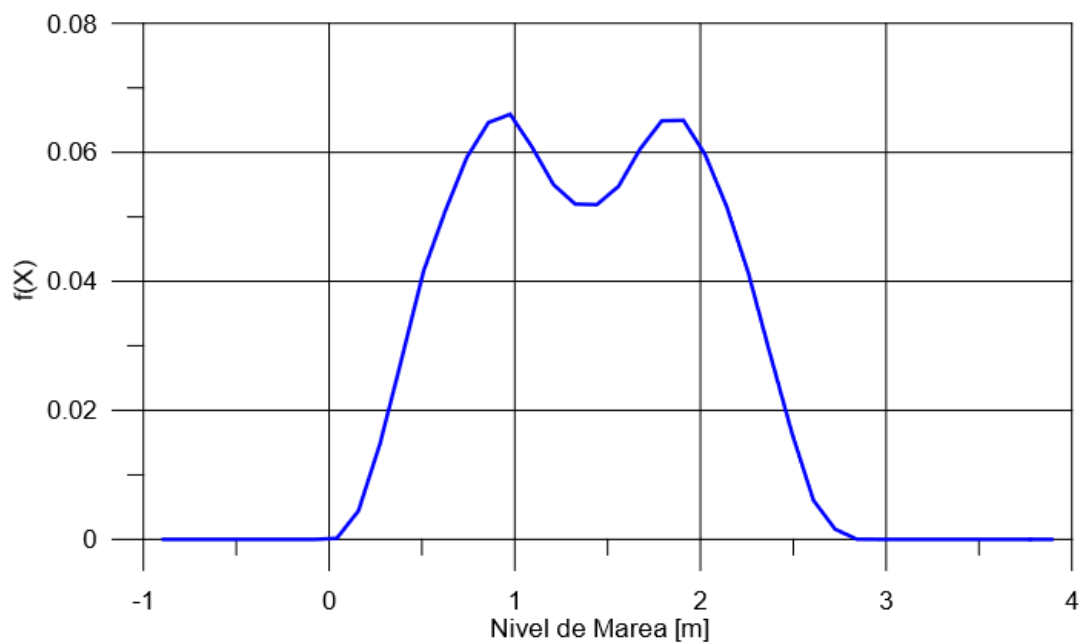


Figura 25: Función de densidad del régimen medio de nivel de marea astronómica.

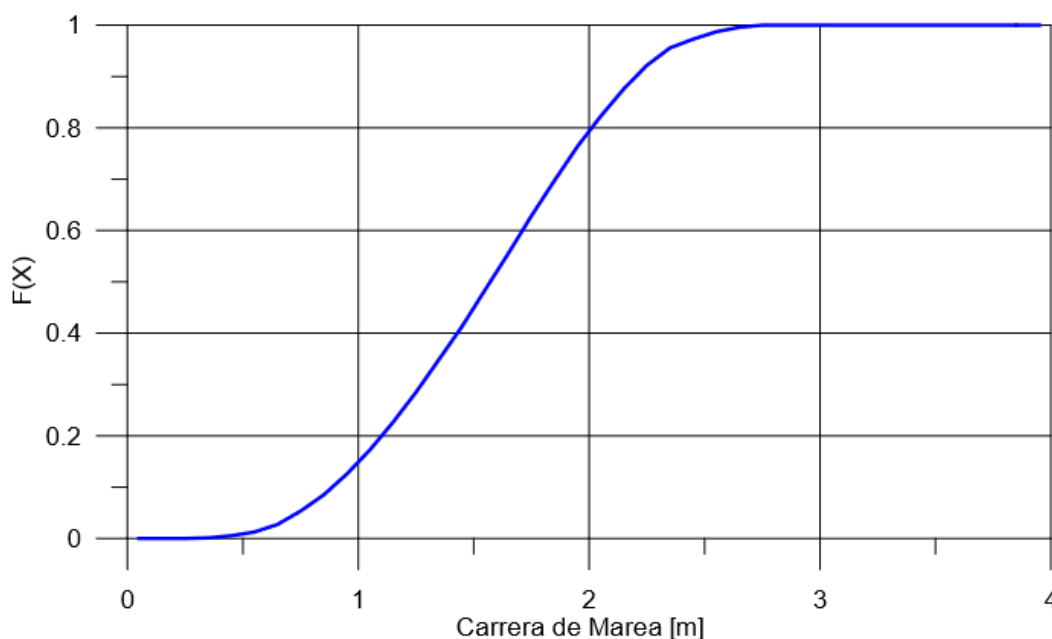


Figura 26: Régimen medio de carreras de marea en Las Palmas.

Estudiando dichas funciones podemos afirmar que el nivel del mar a media marea es poco probable, siendo más probable en situaciones de bajamar (0.9 m) y pleamar (1.8 m). A su vez, el límite superior de la marea astronómica es de 2.8 m y el nivel medio se encuentra en la cota 1.492 m.

4.1.2. MAREA METEOROLÓGICA

La marea meteorológica no es periódica como lo es la astronómica.

4.1.2.1. Variación de la presión atmosférica

Los cambios en la presión atmosférica producen oscilaciones en el nivel del mar. Una disminución de la presión atmosférica, es decir una borrasca, provoca un efecto de succión sobre la masa de agua situada bajo ella y con ello la sobre elevación de la misma; un anticiclón por el contra produce el efecto inverso.

Esta sobre elevación se determina con la siguiente formulación:

$$Svp = 10,36 * (Pe - Po) * (1 - e^{\frac{R}{r}})$$

Dónde:

- Svp: Variación del nivel del mar, medida en metros
- Pe: Presión atmosférica en la periferia de la perturbación atmosférica medida en bares
- Po: Presión atmosférica en el centro de la perturbación, medida en bares
- R: Radio de la perturbación, medido en km.
- r: Distancia entre el punto de medida y el centro de la perturbación, medida en km.

Dada la localización del archipiélago canario los fenómenos más comunes son las borrascas Suratlánticas; consideramos por tanto los siguientes valores:

- $P_o = 0.97 \text{ bar}$
- $P_e = 1.012 \text{ bar}$
- $R = 1000 \text{ Km}$
- $r=R/2$, esta consideración se debe a que el centro de las depresiones se sitúa muy al noroeste de las islas Canarias.

Así, el ascenso máximo obtenido es de 27 cm.

4.1.2.2. Acción del viento

La acción del viento sobre la lámina de agua de mar puede provocar el arrastre de esta, además del oleaje que puede generar. Si ese arrastre es en dirección a la costa se genera una acumulación de agua que provoca el ascenso del nivel medio del mar.

Dentro del sistema de vientos del Archipiélago se puede observar que, aunque los vientos más intensos son los Alisios, que llegan con dirección NE y ENE a la zona de estudio, los que más afectan a la sobreelevación del nivel son los de componente Sur y Sureste. Estos vientos del Sur son debidos a la cercanía de las islas al desierto del Sahara y producen invasiones de aire seco y caliente procedente del continente africano. La caracterización del régimen de vientos de la zona se ha realizado con base en los datos de las observaciones de buques en ruta publicados en la R.O.M. 0.4-95

La rosa de vientos, figura 27, obtenida de esta fuente, señala la dominancia de los vientos del primer cuadrante, fundamentalmente de las direcciones NNE-NE asociadas al régimen de alisios.



Figura 27: Rosa de vientos.

Así mismo la ROM 0.4-95 incluye el régimen escalar de vientos de la zona. Tal y como se puede comprobar, la intensidad media del viento supera los 6 m/s, siendo las probabilidades de superación de los distintos límites de operatividad las siguientes de la tabla 2:

OPERACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO	PROBAB. DE NO EXCEDENCIA
Atrake en sentido longitudinal	17 m/s	96 %
Atrake en sentido transversal	10 m/s	82 %
Carga y descarga	22 m/s	99 %

Tabla 2: Probabilidad de no excedencia del viento.

La figura 28 que se expone a continuación analiza la probabilidad acumulada del viento.

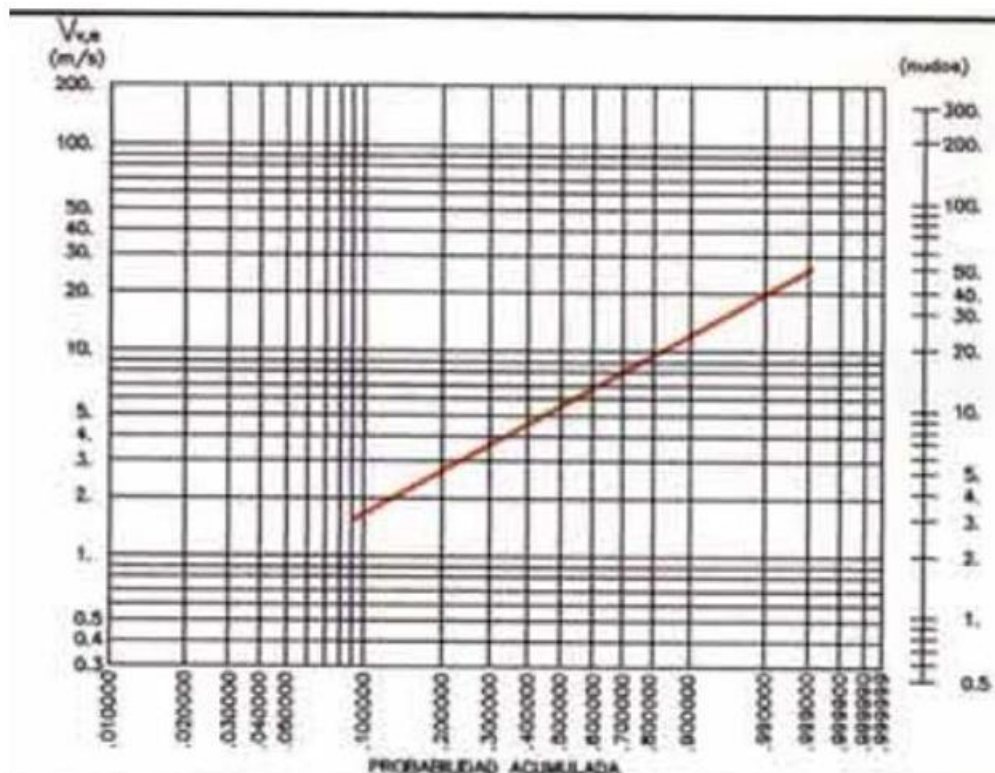


Figura 28: Probabilidad acumulada del viento

La elevación del nivel medio por el viento depende de su intensidad, duración, trayectoria, forma de la costa y rugosidad del fondo. Este proceso es descrito con las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento, las cuales tras ser integradas se convierten en:

$$\frac{\partial nv}{\partial X} = \frac{\tau s + \tau b}{\rho * g * (h + n)}$$

Dónde:

- nv es la sobreelevación por viento.
- τ_s es la tensión tangencial debida al viento.
- τ_b es la tensión tangencial debida a la fricción con el fondo.
- ρ es la densidad del agua.
- h es la profundidad.
- n es el nivel del mar

Por tanto, teniendo en cuenta la relación de la velocidad del viento con la tensión que produce y considerando las velocidades de viento impuestas por la R.O.M, se obtiene una sobreelevación de 2 cm.

4.1.3. ROTURA DEL OLEAJE

La rotura del oleaje se debe a las corrientes que se producen en dirección a la costa en la zona de rompientes, ya que empujan a la masa de agua en dicho sentido.

La evaluación se efectúa mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{\partial n}{\partial X} = k * \frac{\partial h}{\partial X}$$

Cuya solución es:

$$n = k * (hb - h) + nb$$

Siendo:

- nb la variación del nivel del mar en el punto de rotura
- hb la profundidad en el punto de rotura

Adoptando un oleaje de periodo $T = 9$ s y una altura significativa de 2,95 m, adoptado como un temporal de cálculo y una batimetría lineal, se obtiene, un resultado de sobreelevación de 0,5 m. Sin embargo, este tipo de fenómeno sólo es tenido en cuenta en playas; por lo que no será necesario tenerlo en cuenta.

4.1.4. MÁXIMO NIVEL DEL MAR

Así, considerando los factores anteriores:

Marea astronómica: 2,8m

Marea meteorológica:

Por variación de la presión atmosférica: 0,27m

Por la acción del viento: 0,02m

Total 3m

Ello implica que el nivel del mar se puede sobrelevar 3m, por lo que la explanada se debe disponer al menos 3m sobre el cero del puerto. Se hace notar que para la definición de la explanada también se requiere la agitación del oleaje

4.2. OLEAJE EXTERIOR Y RÉGIMENES

El objetivo de este capítulo es analizar y describir el oleaje que llega a la Punta del Gavioto. Para ello se propaga el oleaje en profundidades indefinidas (descritas en el apartado 4) frente a la Punta del Gavioto.

Puertos del Estado define el Régimen medio como: *“una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar”*. Estos datos son de gran relevancia ya que están directamente relacionados con las condiciones medias de operatividad del puerto.

Asimismo, Puerto del Estado también describe el Regimen Extremal como: *“un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo”*. Este condiciona directamente a la operatividad y la seguridad del puerto ya que en situación de temporal la altura de ola alcanza una intensidad poco frecuente. Se debe considerar este parámetro en los cálculos con el fin de acotar el riesgo: se realiza una *“estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta Altura Significante de ola.”*

4.2.1 DATOS

Los datos empleados han sido proporcionados por Puertos del Estado así como el IH de Cantabria. El IH ofrece valores de 534.000 estados de mar (con una hora de duración) desde 1948 a 2008 correspondiendo al punto DOW de Puerto del Rosario cuyas coordenadas son longitud 13.8535W latitud 28.488N profundidad 18.8757m.

Para la modelización de los regímenes medios y extrémales se han utilizado 534.000 estados de mar (una hora de duración), es decir los estados de mar en 61 años desde 1948 hasta 2008, donde se examinan los siguientes parámetros:

- Altura de ola significativa
- Periodo de pico
- Periodo medio
- Dirección del oleaje
- Mediciones de las mareas.

El nodo de Puertos del Estado SIMAR 4056015 (longitud 13.833W, latitud 28.5N) se encuentra muy cerca del punto proporcionado por el IH, por lo que se puede usar para completar información en la zona de estudio. A continuación, se muestra una imagen (figura 29) de la localización de dicho punto.

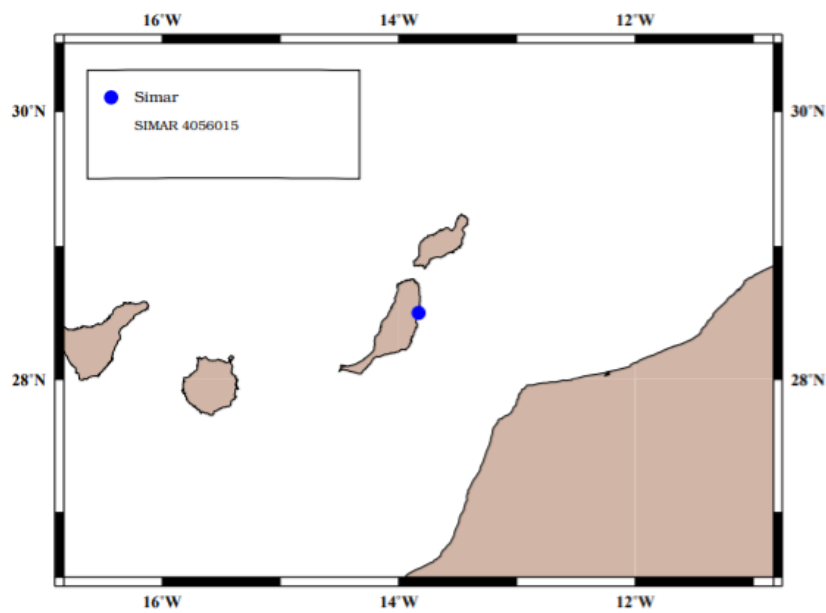


Figura 29: Localización del punto SIMAR 4056015.

4.2.2. REGÍMENES DE OLAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

La rosa del oleaje proporcionada por el Estado (Puertos del Estado) da información acerca de la procedencia del oleaje. Se ha considerado estudiar una media de 50 años. Así, se puede centrar el estudio en las peores direcciones. La rosa de la figura 30 viene acompañada de una tabla resumen con el porcentaje de tiempo que el oleaje afecta la zona. Además, se ofrece una figura 31 con la frecuencia del oleaje por dirección de procedencia.

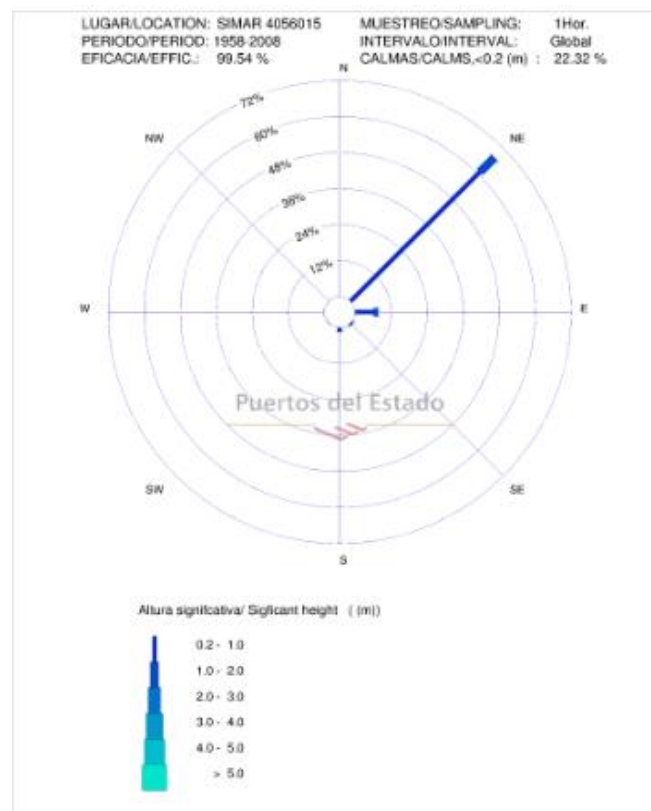


Figura 30: Figura Rosa de oleaje proporcionada por Puertos del Estado de 1958 a 2008.

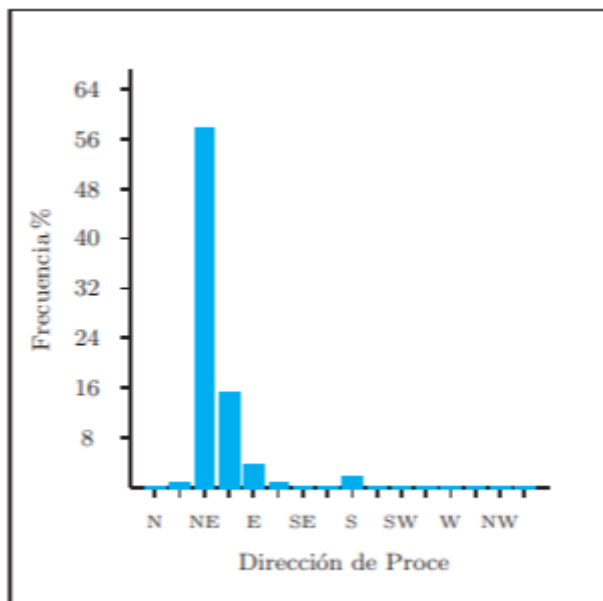


Figura 31: Frecuencia del oleaje por dirección de procedencia.

Se puede observar como los oleajes dominantes en profundidades indefinidas provienen en más del 72 % de los sectores E y ENE. Concretamente el sector ENE acoge más del 56 % del oleaje total.

Estos valores encajan con la dirección general del viento (NNE) como se puede observar en la siguiente imagen 32:

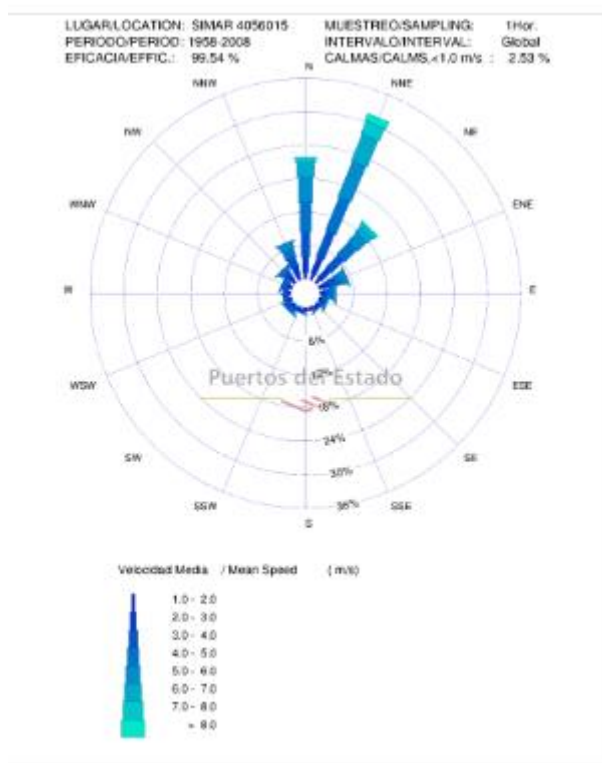


Figura 32: Rosa de viento global.

De acuerdo con estos resultados, y para realizar un análisis más exacto del comportamiento del oleaje se ha procedido a eliminar de la serie de datos inicial todos los estados de mar con direcciones entre NNW y SSW.

La tabla 3 Altura significativa (Hs)-Dirección de procedencia corrobora que los datos más relevantes proceden de la zona norte-este:

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	20.307												20.307
N 0.0		.009	.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.049
NNE 22.5		.279	.197	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	.477
NE 45.0		26.374	25.210	5.155	.465	.053	.014	.004	-	-	-	-	57.275
ENE 67.5		5.734	6.519	2.366	.573	.054	.005	-	-	-	-	-	15.251
E 90.0		1.026	1.647	.772	.199	.020	-	-	-	-	-	-	3.665
ESE 112.5		.178	.263	.175	.046	.006	-	-	-	-	-	-	.668
SE 135.0		.124	.115	.040	.011	.003	-	-	-	-	-	-	.293
SSE 157.5		.179	.097	.010	.002	-	-	-	-	-	-	-	.287
S 180.0		.795	.418	.079	.014	.001	-	-	-	-	-	-	1.307
SSW 202.5		.149	.099	.017	.005	.002	-	-	-	-	-	-	.272
SW 225.0		.007	.016	.003	.001	-	-	-	-	-	-	-	.027
WSW 247.5		.012	.022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.034
W 270.0		.014	.014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.029
WNW 292.5		.008	.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.020
NW 315.0		.007	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.016
NNW 337.5		.009	.012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.021
Total	20.307	34.905	34.689	8.619	1.316	.140	.020	.004	-	-	-	-	100 %

Tabla 3: Tabla Altura significativa (Hs) - Dirección de procedencia.

Además, se puede conocer también la probabilidad de altura de ola en profundidades indefinidas gracias a los datos del Estado como se ve en la siguiente imagen 33:

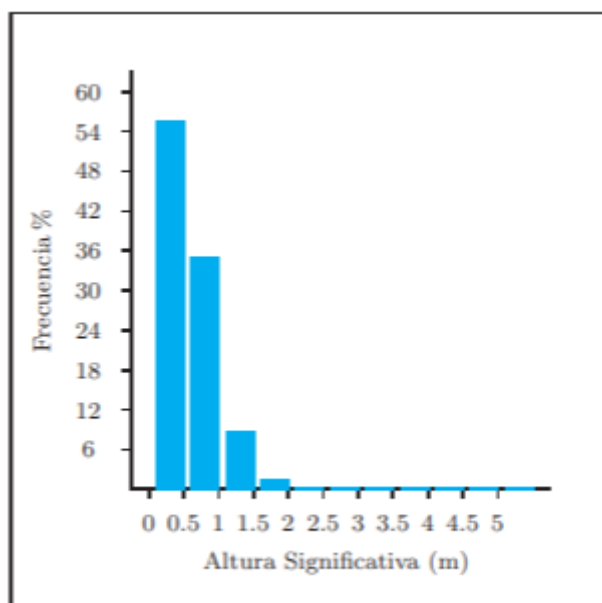


Figura 33: Frecuencia de las alturas de ola.

Así como las frecuencias de los periodos de pico mostradas en la imagen 34:

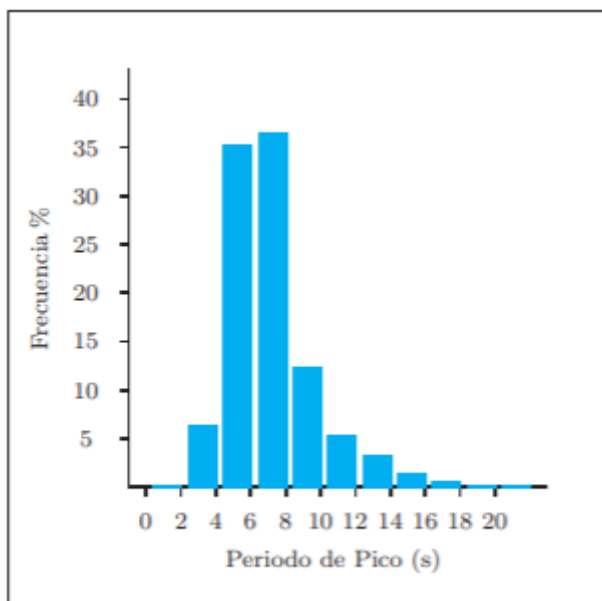


Figura 34: Frecuencia de los periodos de pico.

4.2.3. RÉGIMENES MEDIOS EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

Como se ha descrito previamente, los regímenes medios anuales del oleaje en profundidades indefinidas se obtienen de la siguiente manera: estos son la distribución en el año medio de un parámetro del estado de mar en profundidades indefinidas. Para ajustar el régimen se ha empleado una distribución de *Weibull* de mínimos cuya expresión es:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C}$$

Siendo:

- A el parámetro de escala y mayor que 0
- B el parámetro de centrado ha de ser menor que el menor de los valores ajustados
- C el parámetro de forma, cuyo valor suele estar comprendido entre 0.5 y 3.5m

Los graficos 35 y 36 muestra el ajuste del régimen medio escalar de ola significativa y periodo de pico.

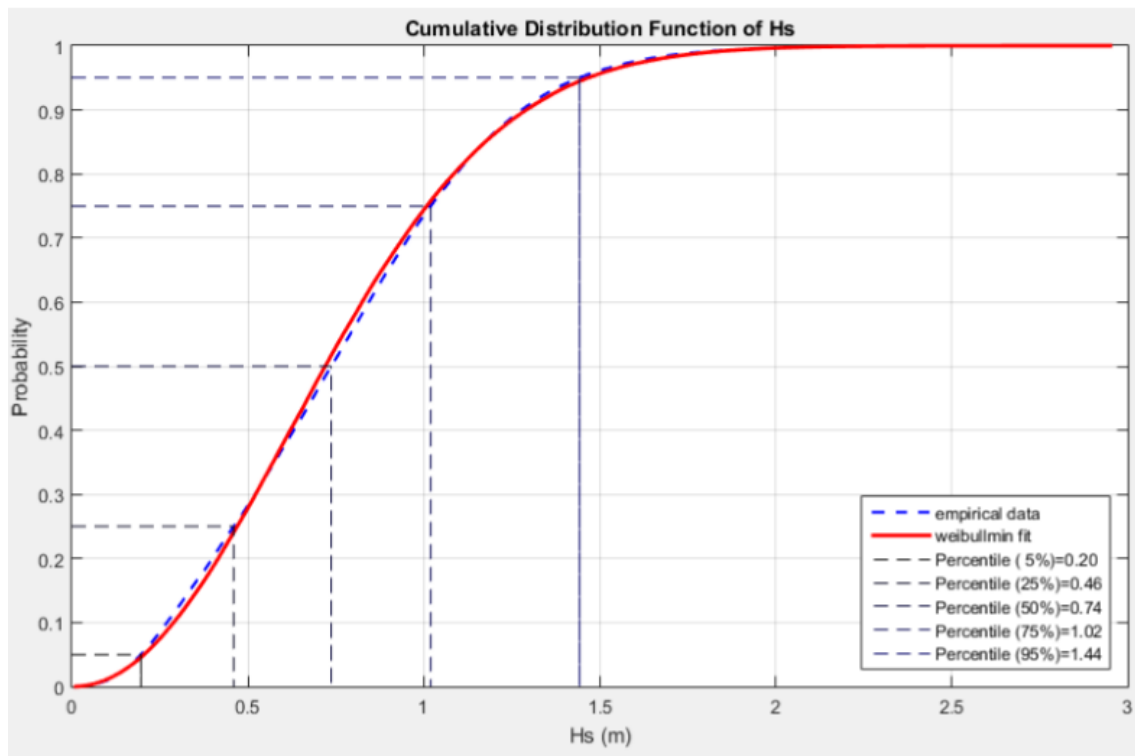


Figura 35: Régimen medio escalar de la altura de ola significativa en profundidades indefinidas.

En este grafico $A=0.85608$, $B=0.003973$ y $C=2.046$.

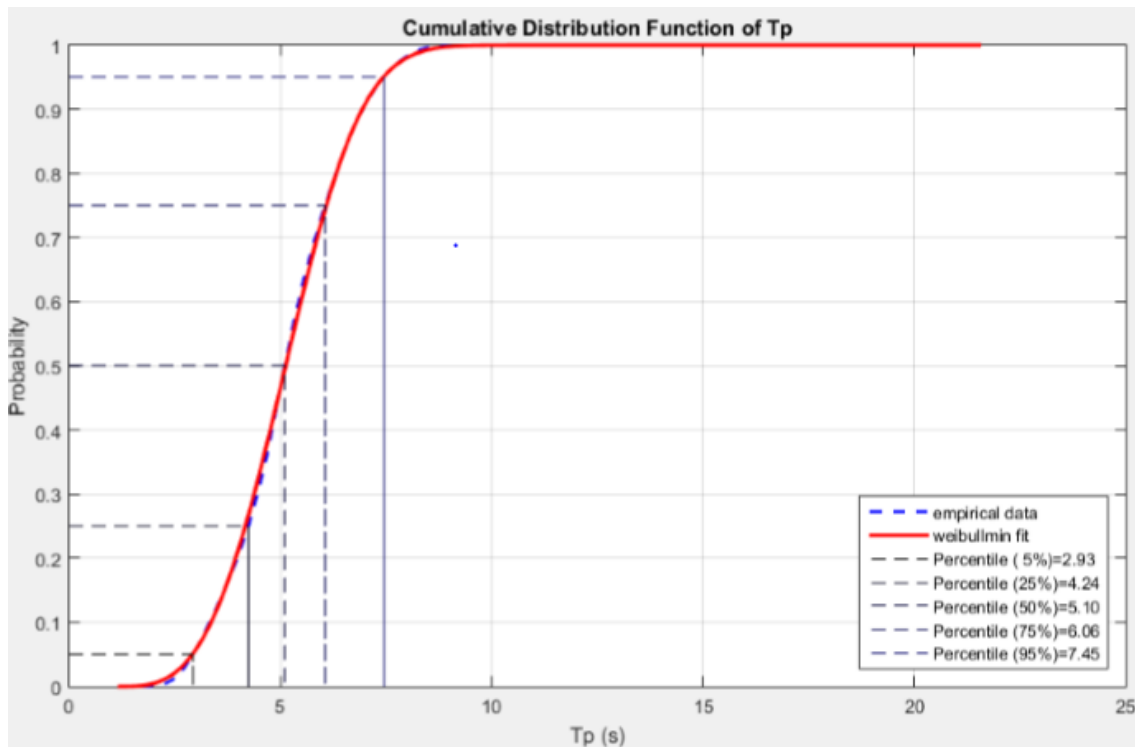


Figura 36: Régimen medio escalar del periodo de pico en profundidades indefinidas.

Donde $A=3.45$, $B=2.48$ y $C=1.62$.

4.2.4. REGÍMENES EXTREMALES EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

En este caso, se estudian de nuevo los datos desde 1948 a 2008, e interesan los máximos anuales como se ha descrito previamente. La distribución se ajusta esta vez a una de tipo *Gumbel*, cuya ecuación se define como:

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{Hs-A}{B}\right)}}$$

En las siguientes imágenes 37 y 38 se exponen el régimen extremal de altura de ola significativa en profundidades indefinidas, y el régimen extremal de periodo de pico en profundidades indefinidas

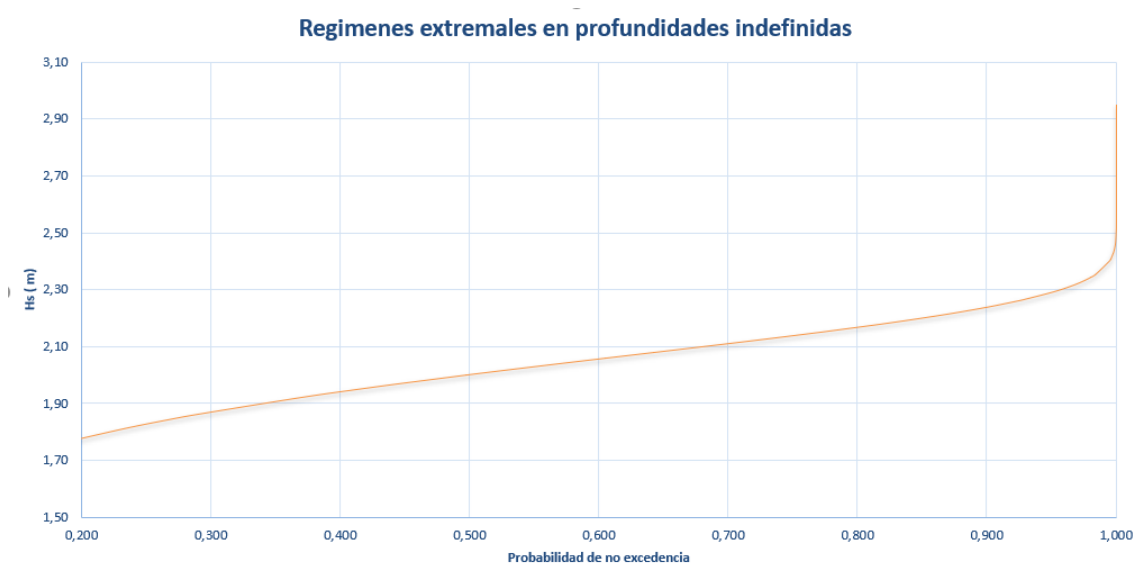


Figura 37: Régimen extremal de altura de ola significativa en profundidades indefinidas.

Donde A=2.0575 y B=0.1914.

Regimen extremal del Periodo Pico



Figura 38: Régimen extremal del periodo de pico en profundidades indefinida.

Donde $A=8.81619$ y $B=2.025$.

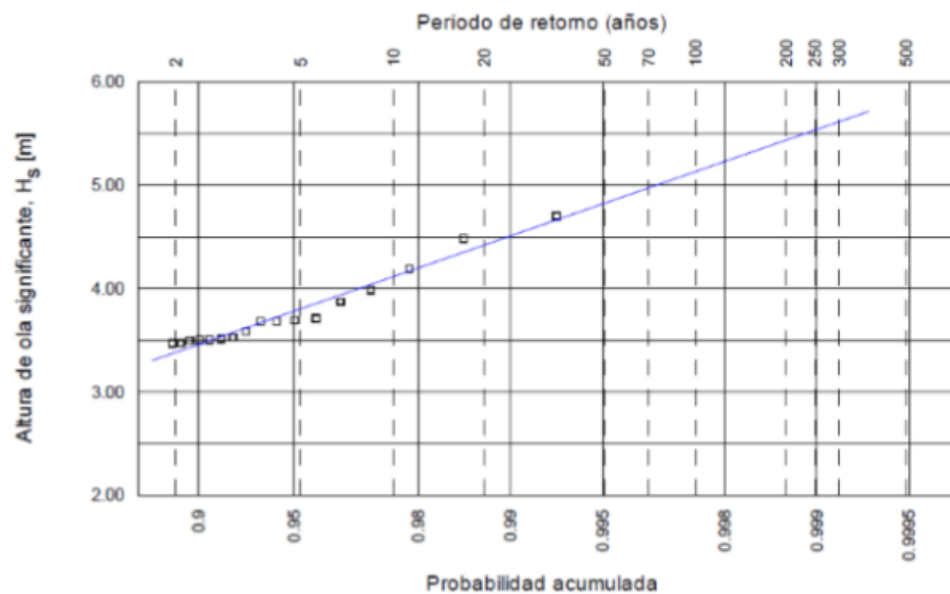


Figura 39: Régimen extremal de la altura de ola significativa.

5. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO

A continuación, se procede a analizar la situación socioeconómica de la Isla de Fuerteventura.

Asimismo, la capital de la Isla, la ciudad de Puerto del Rosario, ha crecido notoriamente, hasta convertirse en la potencia económica de la Isla.

5.1. DEMOGRAFÍA

Como se ha mencionado previamente, en el municipio del Puerto del Rosario habitan 38.711 habitantes (según INE 2017), con una densidad poblacional de 128,86 hab/km².

El aumento de la población en los últimos 10 años se observa en el siguiente gráfico 39. Se muestra también la clasificación de la población por grupos de edad en el gráfico 40.

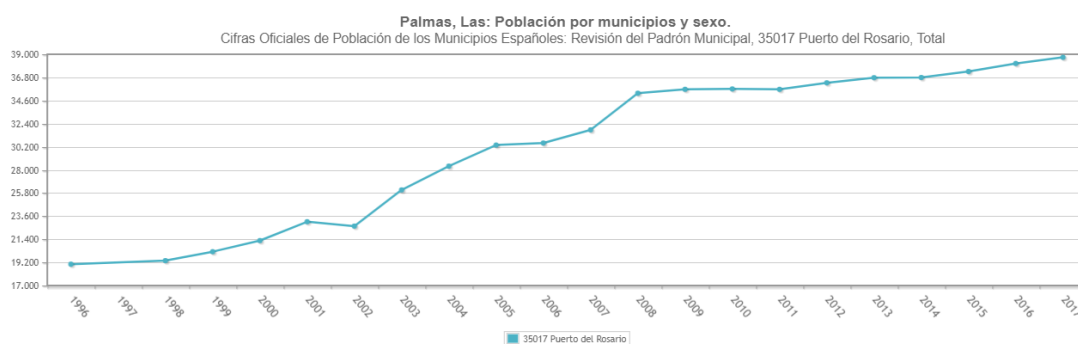


Figura 40: Evolución de la población en Puerto del Rosario.

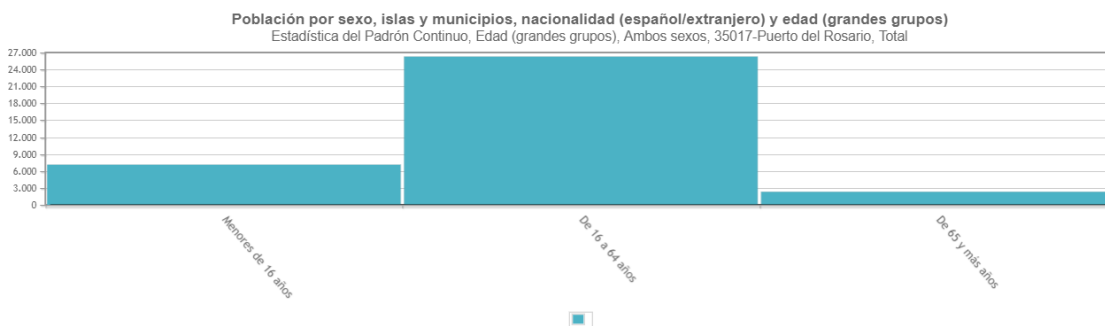


Figura 41: Clasificación de la población de Puerto del Rosario por grupos de edad.

En cuanto al reparto de la población, el intervalo donde se encuentra la mayoría es 16-64 años, lo que implica que gran parte de la población es potencialmente activa. También, se ve que la población joven es el doble que la población anciana. Dentro de este grupo, la diferencia de sexos es como se ve en la figura 41 siguiente:

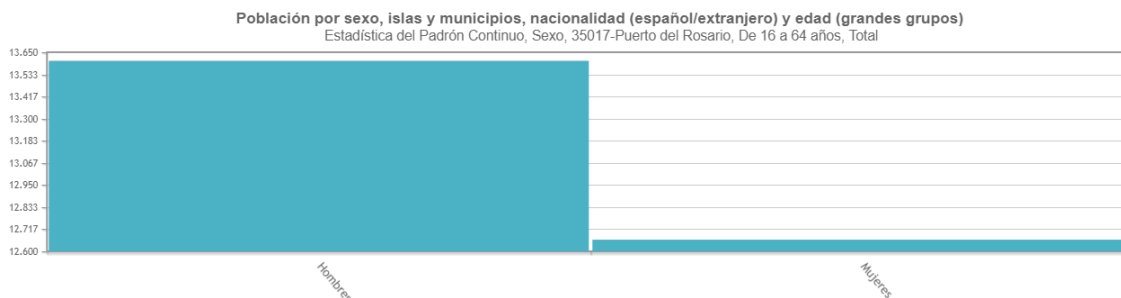


Figura 42: Clasificación de la población de Puerto del Rosario por sexos.

La población masculina es superior a la femenina, con una diferencia de 1000 hombres más.

Por ello, se puede decir que la estructura demográfica conjunta presenta un perfil predominante adultojoven, en la cual los grupos de edad se distribuyen en los siguientes porcentajes:

- Población joven (0 - 16 años): 20%
- Población adulta (17 – 65 años): 73,6%
- Población anciana (más de 65 años): 6,4%

La edad media de la población es 34 años.

En lo concerniente a los habitantes locales o extranjeros, se muestra el número por intervalos de edad en la siguiente tabla 4

	Menores de 16 años		De 16 a 64 años		De 65 y más años	
	españoles	extranjeros	españoles	extranjeros	españoles	extranjeros
Ambos sexos						
35017-Puerto del Rosario	5.891	1.217	20.512	5.753	2.113	178

Tabla 4: Número de habitantes por intervalos de edad.

La mayor parte de la población del municipio ha nacido en el archipiélago canario, el porcentaje de población nacido en otras comunidades o países es bajo.

Entre la población joven hay un 17,1% de habitantes nacidos en el extranjero, un 21,9% entre la población adulta y un 7,77% entre la población anciana. Así, el 80% de los habitantes del municipio de Puerto del Rosario son españoles.

Prácticamente, como hemos dicho anteriormente, Canarias vive principalmente del turismo. Es decir, que todo o casi todo lo previsto sobre nuevos proyectos y actividades sean directamente relacionadas con el turismo, y de esta manera potenciarlo. Como sabemos es bastante difícil, por la cantidad de competidores que se han creado y se están creando. Pero no es imposible, puesto que una de las características que destaca a Canarias es su clima ideal durante todo el año. Con lo cual, puede atraer a todo tipo de turismo. Ya sea, extranjeros que vienen en invierno para encontrar mejor clima que en su país o los mismos nacionales, en busca de un lugar diferente con un clima inmejorable con una temperatura media de 23-25º. Así como también su hospitalidad y amabilidad, además de su profesionalidad y carácter con vocación de servicio de todos los que trabajan en el sector turístico.

5.2. TURISMO

Fuerteventura cerró 2017 con un nuevo saldo positivo en cuanto a la entrada de turistas. La Isla superó la barrera de 3,2 millones de visitantes del pasado año 2016, rozando la cifra histórica de 3,5 millones de visitas. Adaptar la oferta y servicios a la demanda es una de las premisas del Plan de Marketing 2018 del Patronato de Turismo para evitar la temporalidad turística, mejorar las cifras y seguir siendo un destino competitivo. Para ello, ha llevado a cabo un análisis de las debilidades y fortalezas de cada uno de los municipios de la Isla.

La capital de la Isla es, después de Betancuria, el municipio con menor número de camas hoteleras, un total de 894. Sus principales amenazas son el poco uso del casco antiguo y la

escasez de servicios de transporte para ofrecer alternativas a los cruceristas, así como el “poco interés de abrir los centros institucionales en festivos y días de coincidencia con cruceros” a pesar del “inmenso potencial turístico”. Como retos, el municipio capitalino debe afrontar el despegue turístico ampliando la oferta complementaria para estos mismos cruceristas, así como su capacidad hotelera y sacar más rentabilidad al Palacio de Congresos.

Fuerteventura cuenta con un gran porcentaje de población en época estival debido al turismo. En la figura 42 se muestra el número de turistas que habitan la isla en los diferentes meses, viéndose la tendencia evolutiva en los últimos años.

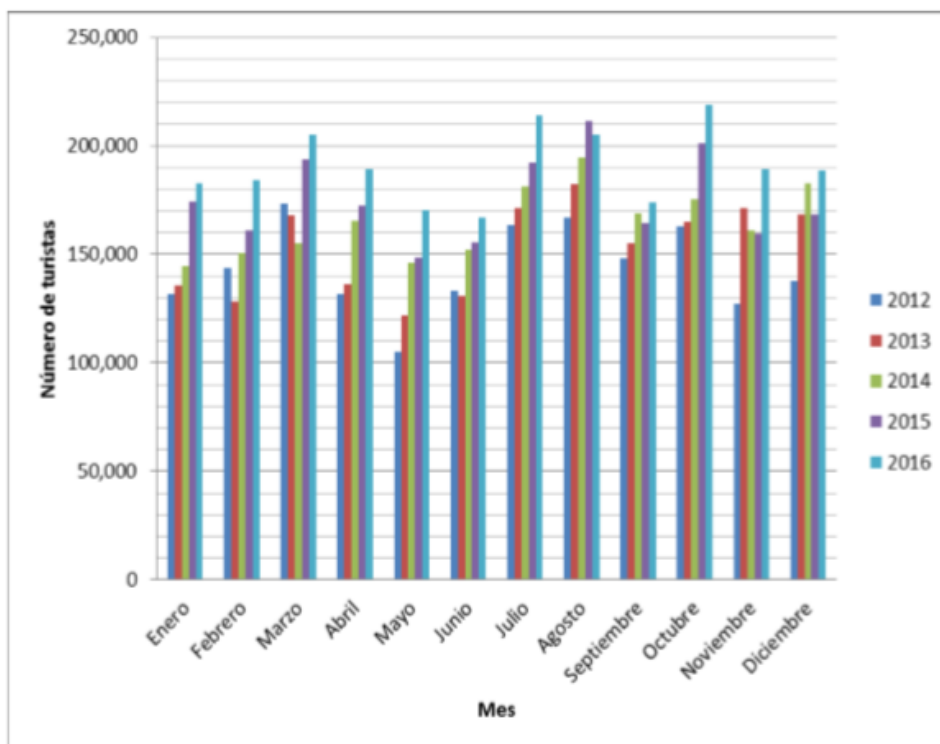


Figura 43: Distribución de turistas por meses y años.

Se puede observar que el número de turistas en los meses de verano duplica a la población residente en la isla. Estos números son gracias a ciertas características de la isla como su estatus de Reserva de la Biosfera desde 2009, a sus más de 150 km de playas combinado con un paisaje volcánico, un entorno muy particular. Asimismo, gracias a los vientos intensos y las olas de hasta dos metros, se forma un lugar ideal para practicar windsurf y kitesurf.

Debido al aumento del número de turistas, Puerto del Rosario ha desarrollado actividades para este sector: dinamización de las zonas peatonales de la ciudad, con música en directo y mercados. Además, el interés de la ciudad se basa en las compras, mientras que el interés por Corralejo es debido a sus playas y la dimensión histórico-cultural atrae a Betancuria.

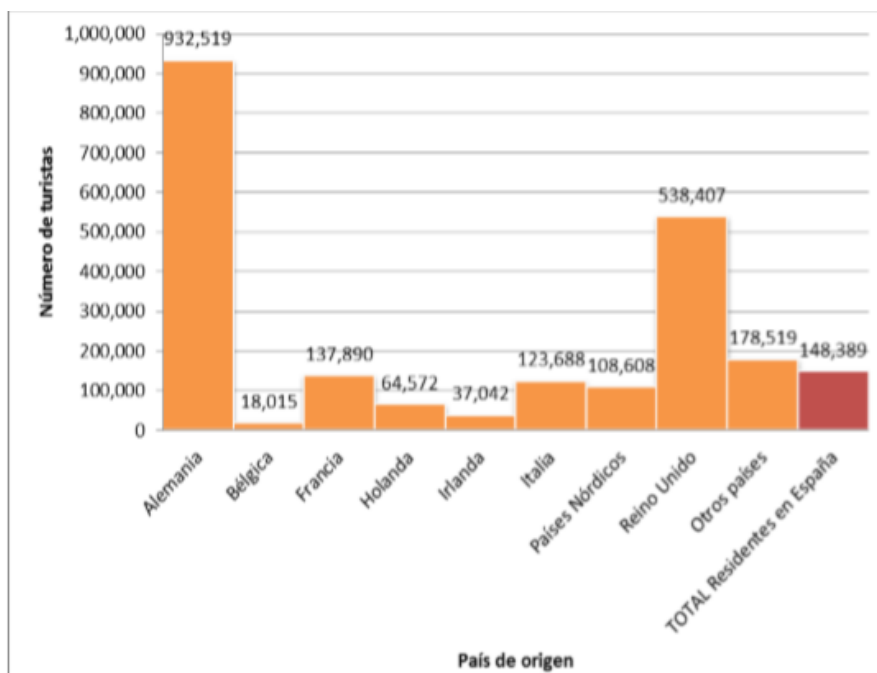


Figura 44: Clasificación de Turistas por país de origen.

En la figura anterior 43 se expone el número de turistas clasificados por su país de origen en 2016. En cabeza se posicionan los alemanes con un porcentaje del 41%. Los siguientes son los turistas ingleses con una tasa del 23,54% con respecto al total, mientras que los residentes en España son menos numerosos con un 6,48%. Se concluye por tanto que la ocupación de la isla es gobernada por turistas europeos donde también destacan los países que se muestran en dicha figura.

A continuación, se procede a analizar los motivos de la visita a la isla. El gráfico 44 siguiente muestra en porcentaje las causas. Se observa así con más claridad que el motivo de ocio o vacaciones es el principal, quedando los demás relegados un segundo plano.

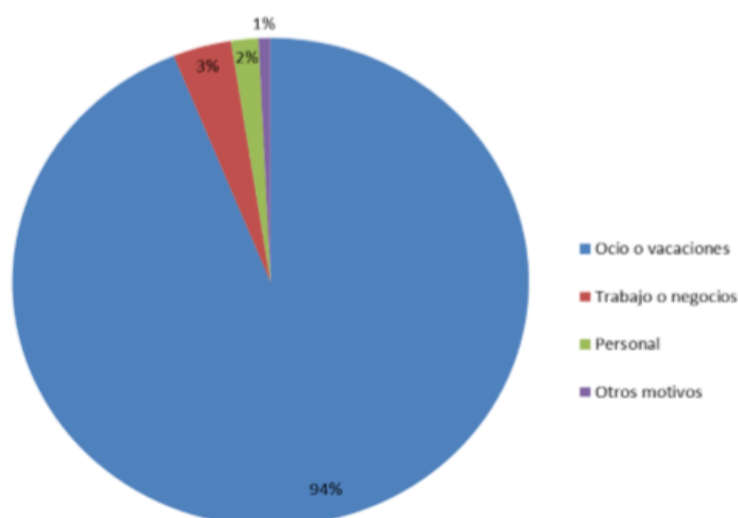


Figura 45: Clasificación de turistas por motivos de estancia en el año 2016.

5.3. ECONOMÍA

Además de por su elevada presencia en la producción y el empleo, el sector comercial es importante por las funciones sociales y económicas que desempeña. La distribución comercial tiene por objetivo fundamental poner en contacto a productores y consumidores, apareciendo como un elemento decisivo en la planificación del espacio físico. Su importancia es aún mayor en la economía canaria dada la división que presenta el mercado regional en siete mercados insulares, la insuficiencia de la producción para atender la demanda interna y el distanciamiento geográfico respecto de los centros productores. A estos factores hay que sumar la vocación eminentemente turística del archipiélago, y la elevada importancia del consumo que realizan los turistas. Según se desprende de los datos del INE, el sector de comercio y reparación canario destaca por presentar unos niveles de productividad inferiores a los del conjunto del sector a nivel nacional.

En Fuerteventura, desde finales del siglo XVIII, la economía de los aldeanos se basaba en el cultivo del cereal, la orchilla así como el ganado. Su exportación, además de avivar el comercio de la zona permitió el crecimiento tanto de los pueblos como del puerto. Esta dependencia provocó que, durante las sequías de finales del siglo XIX, así como la depreciación de la cochinilla provocaron una importante crisis agraria. Esto provocó una migración poblacional, donde la gente dejó los campos, y la isla. De esta manera, este sector de la economía perdió fuerza para dejar paso al turismo, que hoy en día es la base de la economía de toda Canarias.

Cabe destacar, que Fuerteventura recibió en 2012 la medalla de oro del *Quality Coast Gold Award*, premio internacional que distingue la calidad medioambiental costera para un turismo sostenible, siendo calificada como destino muy recomendado en las categorías de naturaleza.

En cuanto a la energía renovable, Fuerteventura produjo 82.282 Mw/h de energía eléctrica en 2014, de los que 25.761 proceden del viento, es decir el 31,3%. Esto la coloca en tercer lugar en Canarias en cuanto a la producción de este tipo de energía.

Otros sectores económicos que pueden citarse, aunque con un desarrollo escaso, son la pesca, la ganadería y la agricultura.

Las islas conocen dificultades a la hora de potenciar el sector servicio debido a diversos motivos:

- Escasa incorporación tecnológica: transportes.
- Baja productividad.
- Poca relevancia factor capital.
- Alta presencia de actividades ajenas al mercado, como la agricultura y ganadería. - Dificultad de acceso territorial debido a su situación geográfica.

5.4. VÍAS DE COMUNICACIÓN

Las deficiencias en infraestructuras y transportes junto a una oferta de alojamiento no reglada, principales amenazas para el desarrollo turístico de la Isla.

La relevancia de la red de infraestructuras viarias para el desarrollo económico reside en su potencial para mover mercancías de un destino a otro. Entre 2000 y 2007, Canarias fue la Comunidad Autónoma española donde más creció el número de toneladas transportadas por carretera, siguiendo un ritmo anual de un 15.9%.

5.4.1. PUERTOS

El tráfico marítimo es una de las opciones de las que dispone el territorio insular para conectarse con el exterior.

Canarias está dotada de múltiples infraestructuras portuarias, teniendo varias islas más de un puerto de relevancia. Se cuentan tres puertos en la isla: Puerto del Rosario, Corralejo y Morro Jable. El puerto que nos concierne recibe principalmente tráfico de mercancías, y cruceros turísticos, y un ferry que conecta con Gran Canaria. Por ello, a medida que se desarrollaba la ciudad, el tráfico aumentaba y se requería más del puerto, por lo que se iba ampliando.

La composición del tráfico de mercancías en el puerto del Rosario es de aproximadamente 231.956 Tn de contenedores, 359.197 Tn de mercancía general convencional, 53.928 Tn de graneles sólidos y 364.710 Tn de graneles líquidos en el año 2015.

En 2007 pasaron por los puertos canarios un 21,4% del total de los buques que visitaron los puertos españoles. A lo largo de los últimos años el número de buques que alcanzaron los puertos canarios se ha ido reduciendo paulatinamente. Entre 2000 y 2007 ha disminuido a un ritmo anual medio de un 2,4%, siendo este porcentaje más acentuado en los puertos de la provincia de Las Palmas. En términos nacionales, esta tendencia es, contrariamente, positiva. La razón principal del interés en estudiar las infraestructuras portuarias tenía que ver con las implicaciones que éstas tienen en el ámbito económico, por lo que conviene estudiar las cifras de pasajeros transportados por esta vía, así como las mercancías distribuidas. El número de pasajeros transportados por barco en los puertos canarios de titularidad estatal ascendió a 5.857.984. Cabe destacar que las cifras de pasajeros destacan los puertos canarios debido a las necesidades de interconexión insulares interiores. Finalmente, la evolución de estas cifras en el tiempo también ha resultado bastante interesante. La relevancia de los pasajeros transportados en Canarias ha ido perdiendo peso, mientras que la ganaba en el conjunto de los puertos españoles; es decir, lo mismo que sucedía con el número de buques. Durante el periodo que se extiende entre 2000 y 2007, el número de pasajeros por vía marítima descendió en Canarias a un ritmo medio anual de un 0,3%, mientras que en los puertos españoles lo hizo a un ritmo positivo de un 5,1%. Con lo que respecta al transporte de mercancías, el ritmo de crecimiento de estas llegadas ha sido importante. Entre 2000 y 2007 las toneladas de mercancías recibidas aumentaron a un ritmo medio anual de un 8,5% en los puertos canarios, alcanzando un ritmo algo inferior al del total nacional que fue de un 9,1%.

5.4.2. AEROPUERTO

EL aeropuerto de la isla es su principal vía de acceso a esta. Entre llegadas y salidas, se llegan a contabilizar hasta cinco millones de pasajeros. Este se encuentra a cinco kilómetros de Puerto del Rosario, en El Matorral. Asimismo, dispone de servicios de autobuses frecuentes y de taxis. En vista de la previsión de pasajeros en un futuro, se ampliaron las instalaciones para abarcar cuatro mil pasajeros por hora, con el fin de aportar una mejor comodidad para los viajeros.

5.4.3. CARRETERAS

Existen dos vías principales que bordean la costa: la FV-1 (Carretera del Norte) une Puerto del Rosario con Corralejo, y la FV-2 (Carretera del Sur) con Jandia. Además, existen pistas y carreteras que conectan las poblaciones al interior de la isla.

Sin embargo, estos se han visto saturados y en malas condiciones debido al intenso tráfico al que no estaban diseñadas. Por ello, sean realizado mejoras con los años para aumentar el nivel de servicio y pretendiendo convertirse en el futuro, en el eje norte-sur que una Morro Jable con Corralejo.

Una estación de autobuses dispone de espacio para 15 vehículos normales y dos arcenes para vehículos de grandes dimensiones. Esta estación da servicio tanto al servicio público de transporte de viajeros del municipio de Puerto del Rosario como a las líneas que unen las distintas poblaciones de la isla.

6. CONDICIONANTES OPERATIVOS DEL PROYECTO

6.1. INTRODUCCION

Este apartado es de especial importancia ya que indica los condicionantes que existen en todo el ciclo de la construcción, tanto durante la etapa de construcción como la etapa de servicio. A su vez, en este último grupo se diferencian dos condiciones de operación:

- Condiciones normales de operación: en esta no existe condicionamiento climático del tipo marítimo o meteorológico, por lo que todas las instalaciones portuarias funcionan sin límites.
- Condiciones extremas de operación: en este caso las actividades deben detenerse mientras duren condiciones que superan los umbrales de explotación.

Es por ello por lo que resulta importante diseñar adecuadamente la geometría del puerto. Esta debe ser tal que permita realizar con seguridad las maniobras de los buques en las condiciones normales previamente citadas. Se necesitan conocer los requisitos en planta y en alzado de dichas maniobras, así como las condiciones límite de operación.

6.2. REQUERIMIENTOS EN ALZADO Y PLANTA

Para este proyecto nos interesan los siguientes requerimiento:

- Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Bocanas de puertos
 - Abrigados por la forma de la costa 1,10 D
 - Poco abrigados 1,20 D
 - Desabrigados con oleajes $H_s < 1,00$ m 1,30 D
 - Totalmente desabrigados con oleajes $H_s < 2,00$ m 1,50 D
- Vías de navegación interiores
 - Abrigadas 1,10 D
 - Poco abrigadas 1,15 D
- Áreas de maniobras
 - Abrigadas 1,08 D
 - Poco abrigadas 1,12 D
- Muelles y atraques abrigados
 - Para buques grandes ($D > 10.000$ t) 1,08 D
 - Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t) 1,05 D
- Muelles y atraques poco abrigados
 - Para buques grandes ($D > 10.000$ t) 1,12 D
 - Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t) 1,10 D

Siendo D el calado del buque.

7. CARÁCTER GENERAL Y OPERATIVO DE LAS OBRAS

7.1. CRITERIOS GENERALES

Según la ROM 0.0, para el cálculo y la verificación de cualquier obra marítima y portuaria se deben establecer una secuencia de actividades. La primera de ellas es el establecimiento de los criterios generales de proyecto, es decir la caracterización de la obra en cuanto a seguridad, servicio y explotación.

Se diferencia por un lado el carácter general de la obra y por otro el operativo de la obra.

7.1.1. CARÁCTER GENERAL DE LAS OBRAS

El carácter general de la obra permite evaluar la repercusión económica, social y ambiental que tendrá la destrucción o pérdida de la funcionalidad de la obra. Para ello se analiza tanto las obras de abrigo, ya que son los tramos más complejos, así como las instalaciones portuarias. La ROM 0.0 establece unos parámetros para medir estas repercusiones.

7.1.1.1. Índice de repercusión económica

Como su propio nombre lo indica, este índice permite evaluar cuantitativamente las implicaciones económicas que generarían la destrucción o la pérdida de operatividad total: por reconstrucción de la obra (CRD), por cese o afección de las actividades económicas que se realizan directamente (CRI). El índice se mide con la siguiente fórmula:

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0}$$

Dónde:

- C_{RD} : se define como el coste de ejecución por contrata de las obras de reconstrucción de la obra marítima a su estado previo, en el año en que se valoren los costes por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. En este proyecto, no se disponen de estudios detallados para tal fin por lo que se considera como la inversión inicial debidamente actualizada al año citado.
- C_{RI} : en este coste se agrupan las repercusiones económicas por cese o influencia de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra, bien por servicios que se han instaurado después de su puesta en servicio o por los demandantes y por los daños en los bienes defendidos. Su evaluación se realiza a través del Valor Añadido Bruto, a precios de mercado durante el período que se estime que dure la reconstrucción, tras la destrucción o pérdida de operatividad de la obra, considerando que ésta se produce una vez consolidadas las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. De nuevo en este proyecto no se disponen de estudios detallados, por lo que en este coste se agrupan la consolidación de actividades económicas directamente relacionadas con la obra se produce transcurridos x número de años desde su puesta en servicio que, salvo justificación en otro sentido, se tomará cinco años.
- C_0 : este coste es un parámetro económico cuyo valor depende de la estructura económica, así como del nivel de desarrollo económico del país donde se ubique la obra. Por tanto, este varía en el tiempo. En España, se considerará en el año horizonte tres millones de euros.

Se hace notar que no se dispone del parámetro C_{RI} . Es por ello que se estima el valor del cociente C_{RI}/C_0 cualitativamente en función del ámbito del sistema productivo al que sirve la obra marítima(A), la importancia estratégica del sistema económico y productivo (B), y la importancia de la obra para el sistema económico y productivo (C). En este caso particular el ámbito es regional, la importancia estratégica del sistema económico es esencial y la importancia de la obra para el sistema económico y productivo es esencial, obteniéndose así un cociente de valor 14.

También, se realiza una estimación del cociente C_{RD}/C_0 . Se entiende por fallo de las obras como la destrucción del dique exterior de abrigo por acción del oleaje. Es por ello por lo que el coste de ejecución por contrata de reconstrucción de los 400 metros de dique vertical se aproxima a quince millones de euros. Por tanto, el índice en cuestión iguala a 5.

En el capítulo 4 de la ROM 0.0, estas obras entran en la clasificación en el intervalo R₂, obras con repercusión económica media: $5 \leq IRE \leq 20$.

7.1.1.2. Índice de repercusión social y ambiental

En este índice se agrupan las pérdidas socioambientales, es decir: la pérdida de vidas humanas, los daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico y artístico, así como la alarma social producida en caso de destrucción o pérdida de operatividad total de la obra marítima.

La primera de todas estas pérdidas es menos probable que producir daños al medio ambiente. Asimismo, las causadas al patrimonio, a diferencia de las demás pueden ser reversibles, y además en este entorno serían leves. Sin embargo, la alarma social que se generaría sería elevada. En consecuencia, la suma de los subíndices corresponde a un valor de 15, quedando las obras dentro de la clasificación en el intervalo S2: Obras con repercusión social y ambiental significativas: $5 < IRE < 20$.

Este carácter general de la obra permite determinar la vida útil mínima de la obra y la máxima probabilidad de fallo que aparece en la siguiente tabla 5.

Vida útil	25 años
Máxima probabilidad de fallo	0.1

Tabla 5: Máxima probabilidad de fallo

7.1.2. CARÁCTER OPERATIVO DE LA OBRA

El caso anterior se basaba en la probabilidad de fallo mientras que este se basa en la capacidad de operar o la disminución de su nivel de operatividad. Para el análisis del carácter operativo, de los diferentes posibles escenarios de parada operativa, se considerará aquel que genere el mínimo servicio.

Este se determina en base a los índices de Repercusión económica operativa y repercusión social y ambiental operativa.

7.1.2.1. Índice de repercusión económica operativa

Este índice de repercusión económica operativa proporciona una valoración cualitativa de los costes generados por la parada operativa de una obra marítima. En el estudio que concierne a este proyecto en el intervalo de tiempo considerado, la intensidad de uso de la demanda es intensiva, la adaptabilidad de la demanda y del entorno económico es media, y la simultaneidad del periodo de demanda afectado por la obra y la severidad del agente que determina el nivel

de servicio es probable. Así, el IREO que se obtiene es 10, por lo que la obra se clasifica como R_{0.2}: obras con repercusión económica operativa media.

7.1.2.2. Índice de repercusión social y ambiental operativo

El índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo, ISAO, valora a su vez cualitativamente las repercusiones en los términos socioambientales si se produjese una parada operativa de una obra marítima.

Al igual que el ISA, este índice se define como la suma de varios apartados. Estos son: la pérdida de vidas humanas cuya probabilidad es remota, los daños al medioambiente y el patrimonio histórico y artístico cuya posibilidad también es remota, mientras que la alarma social generada es alta. Así el ISAO alcanza un valor de 10, clasificándose como S_{0,2}, obras con repercusión social y ambiental operativa baja: $5 < \text{ISAO} < 20$.

Estos índices indican la operatividad mínima para la que debe diseñarse la obra en cuestión. El puerto deberá cumplir este requisito, así, para unas condiciones de trabajo operativas normales, tendrá una probabilidad máxima de parada, un número máximo de paradas y una duración máxima de estas, para obtener unas mínimas garantías de operatividad. La tabla 6 expone estos valores.

Operatividad mínima	95%
Número medio de paradas operativas	5
Duración máxima admisible de la parada operativa	6 horas

Tabla 6: Garantías de operatividad.

7.1.3. ROM 1.0-09

Se procede a definir los niveles de seguridad recomendados por la R.O.M.1.0-09, que también son actualmente vigentes y que pueden ser más restrictivos que la R.O.M 0.0. Esta indica una vida útil para puertos comerciales abiertos a todo tipo de tráfico de 50 años y una probabilidad de fallo 0.1. Estos valores se exponen en las tablas 7 y 8.

ÁREA PORTUARIA	Tipo de área abrigada o protegida	IRE	VIDA ÚTIL (años)
PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráfico	Alto	50
	Puertos para tráfico especializados	Medio(alto)	25(50)

Tabla 7: Vida útil de un puerto comercial-IRE.

ÁREA PORTUARIA	Tipo de área abrigada o protegida	ISA		Probabilidad de fallo
PUERTO COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique	Mercancías peligrosas	Alto	0.01
		Pasajeros y Mercancías no peligrosas	Bajo	0.10
	Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique	No significativo		0.20

Tabla 8: Probabilidad de fallo de un puerto comercial-ISA.

En el puerto comercial se disponen de zonas de almacenamiento y operación de mercancías adosadas al dique. Dichas zonas pueden llegar a ser rebasadas, por lo que el IREO es Alto. La operatividad mínima resultante es más restrictiva, estableciéndose como el 99%, lo que conlleva 88 horas de inoperatividad al año. Por otro lado, el índice ISAO es bajo ya que no se opera con mercancías peligrosas, llegando a un número máximo de paradas de 5. A través de estos dos índices se define que la duración máxima probable de una parada operativa es de 3 horas.

7.2. PERIODO DE RETORNO

Este es el tiempo que se espera que transcurra entre dos eventos de probabilidad baja. A través de los datos anteriores se obtiene tanto la vida útil como la probabilidad de fallo.

$$T = \frac{1}{1 - (1 - PF)^{1/V}}$$

Tal y como se ha calculado hace apenas unas líneas, la vida útil mínima de las obras de abrigo y del puerto en general es de 50 años, la probabilidad de fallo por su parte es igual a $P_{f,ELU}$ que en este caso es igual a 0.1. Así, el periodo de retorno queda:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - 0.1)^{1/50}} = 475 \text{ años}$$

Asimismo, la probabilidad de que dicho valor no sea superado es:

$$P(H_s \leq H_{50}) = 1 - \frac{1}{T} = 0,998$$

8. ESTUDIO DE LAS NECESIDADES PARA EL DISEÑO EN PLANTA DEL PUERTO

8.1. CONDICIONANTES OPERATIVOS DEL DISEÑO

Los condicionantes operativos de diseño se definen como los requisitos geométricos necesarios para que las maniobras de los buques se realicen con seguridad, y en condiciones extremas que no superen los límites que implicarían paradas de operatividad. Así, se exigen requerimientos tanto en planta y alzado de las instalaciones portuarias.

8.1.1. REQUERIMIENTOS DE PLANTA Y ALZADO

En este apartado se determinan los requerimientos en planta y en alzado de las embarcaciones en las instalaciones portuarias:

- Áreas de navegación.
- Áreas de maniobra.
- Dársenas y muelles.

Para los valores de este apartado se han consultado las recomendaciones determinadas en la R.O.M. 3.1-99.

8.1.1.1. Requerimientos en alzado

Para la determinación de la profundidad de agua necesaria en las diferentes áreas de navegación y flotación se analizan los factores de la siguiente figura 45.

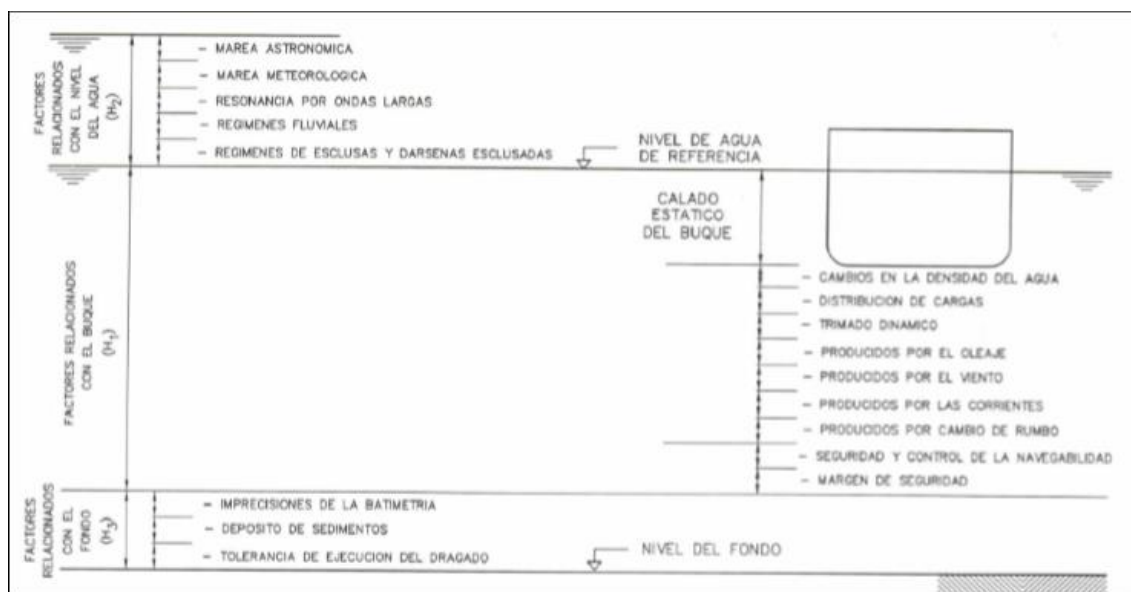


Figura 46: Factores que hacen variar el nivel del mar.

- Las características de las embarcaciones como pueden ser sus calados pueden generar que en algún punto de su caso se alcance una cota más baja que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar, incluyéndose los márgenes de seguridad. (H1)
- El nivel del agua que se considere y los factores que afecten a su variabilidad, que determinan el plano de referencia del buque. (H2)

- Los factores relacionados con el fondo, sus imprecisiones de medida y/o variabilidad. (H3)

H1

- Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Bocanas de puertos
 - Abrigados por la forma de la costa 1,10 D
 - Poco abrigados 1,20 D
 - Desabrigados con oleajes $H_s < 1,00$ m 1,30 D
 - Totalmente desabrigados con oleajes $H_s \geq 2,00$ m 1,50 D
- Vías de navegación interiores
 - Abrigadas 1,10 D
 - Poco abrigadas 1,15 D
- Áreas de maniobras
 - Abrigadas 1,08 D
 - Poco abrigadas 1,12 D
- Muelles y atraques abrigados
 - Para buques grandes ($D > 10.000$ t) 1,08 D
 - Para buques pequeños y medio ($D < 10.000$ t) 1,05 D
- Muelles y atraques poco abrigados
 - Para buques grandes ($D > 10.000$ t) 1,12 D
 - Para buques pequeños y medios ($D < 10.000$ t) 1,10 D

Con una altura de ola significativa superior de dos metros, las vías de navegación y la zona exterior quedan desabrigadas. El factor H1 mencionado previamente resulta 1.12 D, siendo D el calado del buque (este dato ha sido conseguido de la R.O.M 2.0-11). El resguardo bruto mínimo debe ser en todo momento de medio metro (0.50m). Así, se necesita determinar las dimensiones de los buques actuales y futuros máximos que se sitúen en la zona interior y exterior. Estos han sido obtenidos de la memoria anual de 2015 realizada por la Autoridad Portuaria de Las Palmas. Ya que los buques mayores para pasajeros van a atracar en el puerto actual, no se considerarán para el Nuevo Puerto.

De este modo, las dimensiones máximas actuales consideradas son las siguientes:

- El buque con mayor eslora: definido como otro tipo de buques, tiene una eslora de 182'55 m, un calado de 11'21 m y 23.240 GT.
- El buque con mayor calado: definido como buque de crudo, tiene un calado de 11'81 m, una eslora de 171'22 m y 22.184 GT.

Por otro lado, la flota futura estimada es:

- Eslora: 210 m.
- Calado: 13 m.

Con esto, se obtiene un H1 mínimo de 14.5 m y un H3 de 1 m. Por tanto, podrá estimarse entorno de los 15.5 m por debajo del nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores debidas a mareas y regímenes fluviales. El calado de proyecto considerando los factores relacionados con el fondo estará en torno a los 16 metros, siendo solo necesario para las proximidades del muelle de este tipo de buques.

8.1.1.2. Requerimientos en planta

En este caso se diferencian los requerimientos para la navegación, para las maniobras y para las dársenas y los muelles.

Por un lado, las áreas de navegación son las zonas empleadas por los buques para su tránsito y el acceso a las instalaciones portuarias. Dentro de estas cabe distinguir la vía de navegación exterior y la bocana de entrada al área abrigada. Para el buque de diseño con una manga de 35 metros se necesita una anchura del canal de navegación de 200 metros y una anchura de bocana de 160 metros.

Por otro lado, las áreas de maniobra son aquellas destinadas a la realización de maniobras de aproximación, arrancada y reviro. Las dimensiones necesarias para estas maniobras son función de numerosos factores, entre los que destacan la existencia o no de remolcadores, la intensidad de las corrientes y la intensidad del viento. Se consideran las dimensiones con y sin remolcadores ya que ambas situaciones pueden tener lugar durante la vida útil del puerto. En lo concerniente al viento, la importancia de este factor hace necesaria la realización de un estudio específico de maniobra que, por medio de simulación, cuantifique y optimice las maniobras que se han de realizar en el Puerto. En este proyecto, y a falta de dicho estudio específico, se adoptan unos valores para las maniobras considerando unos resguardos del 10% por seguridad frente a la incertidumbre. En la tabla 9 se dan las dimensiones de un buque tipo.

	Reviro sin remolcadores	Reviro con remolcadores	Parada en círculo
Buque Tipo	1.200	470x370	2.000

Tabla 9: Dimensiones buque tipo.

Finalmente, las dársenas y muelles son las áreas portuarias en las que se llevan a cabo las operaciones portuarias y comprenden aquellas instalaciones y equipos que permiten el atraque, carga y descarga del buque. En base a las recomendaciones de la R.O.M. 3.1-99, en la siguiente tabla 10 se describen las dimensiones requeridas para los buques tipo.

	Longitud atraque	Anchura dársena			
		2 lados+ 2 barcos	1 lado + 2 barcos	2 lados + 1 barco	1 lado + 1 barco
Buque Tipo	230 m	180 m	155 m	140 m	115 m

Tabla 10: Longitud de atraque y anchura de dársena según configuración para buque tipo.

A figura 46 explica el amarre de las embarcaciones en las dársenas.

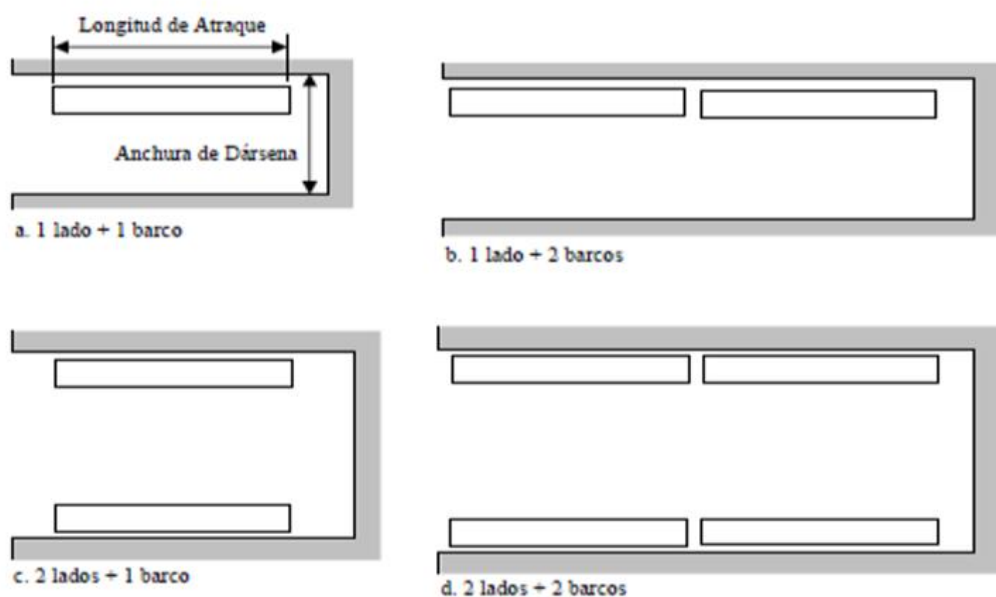


Figura 47: Amarre de las embarcaciones en las dársenas.

8.2.2. CONDICIONANTES LÍMITE DE OPERACIÓN

En lo referente a los condicionantes límites de operación, en la siguiente tabla se definen los umbrales que no deben ser excedidos en más de un 1% del tiempo, cumpliendo con el requisito de operatividad mínima del 99%. Su cumplimiento condicionará las dimensiones de las obras de abrigo. En la ROM 3.1-99 se definen las condiciones límites de operación, y se exponen en la tabla 11:

	Velocidad máxima del viento (m/s)		Altura de ola máxima (m)	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
Atraque de buques	17	10	2.5	1.5
Paralización de carga y descarga de graneles	22	22	1	0.8
Paralización de carga y descarga de portacontenedores y Ro-Ro	22	22	0.5	0.3

Tabla 11: Condiciones límite de operación (tabla 8.1 de la ROM 3.1-99).

9. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este apartado se procede a realizar la descripción de las alternativas que se han planteado para el Puerto del Rosario. En efecto, antes de realizar cualquier obra, se analizan una serie de opciones, de las cuales se escoge la mejor. La metodología para la elección de la alternativa es la siguiente:

Primero, se describe a grandes rasgos la ubicación y la configuración actual del puerto. Una vez analizada la problemática, se plantean 6 soluciones factibles. Una vez estudiadas, mediante un análisis multicriterio se obtiene la mejor opción. En este análisis se determinan criterios, a los que se adjudica una ponderación. En cada alternativa se puntúa según el criterio. Dicha puntuación se multiplica por la ponderación respectiva y estas se suman. La que mejor puntuación obtenga es la elegida. Para una mejor aclaración se explica el siguiente ejemplo:

Una vez decidido que se va a realizar un puerto, se procede a contemplar dos alternativas para la realización del puerto.

Se proponen dos tipos de alternativas: una ampliación del puerto y la construcción de uno nuevo.

Con el fin de poder comparar las dos alternativas propuestas, se han escogido los siguientes criterios: Económico, Impacto Ambiental, Capacidad de muelle, Protección frente al oleaje. Según la importancia que se considera que tienen en la elección de una alternativa se les ha adjudicado un criterio como aparece en la siguiente tabla 12:

Criterios	Ponderación
Económico	0,6
Impacto Ambiental	0,2
Capacidad de muelle	0,05
Protección frente al oleaje	0,015
Total	1

Tabla 12: Ponderación de los criterios.

Una vez determinado esto, se asigna una nota a cada alternativa en función del criterio. Así la tabla 13 es la siguiente:

Criterios	Ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2
Económico	0,6	8	4
Impacto Ambiental	0,2	8	3
Capacidad de muelle	0,05	4	9
Protección frente al oleaje	0,015	6	8
Total	1	6,69	3,57

Tabla 13: Evaluación de las alternativas.

Se deduce claramente que la mejor opción es la ampliación del puerto.

Se presenta inicialmente una descripción del estado actual de puerto.

9.1. DESCRIPCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL PUERTO

El puerto, llamado inicialmente Puerto de Cabras, se halla en el Noroeste de la isla de Fuerteventura, Canarias. El nombre actual lo obtiene de la ciudad en la que se ubica, la capital, Puerto del Rosario.

Anteriormente, el transporte de mercancías y su carga y descarga a la isla se realizaba en la ensenada entre la Punta del Viejo y la Punta del Viento. Sus abrigadas condiciones naturales permitían a los barcos fondear en sus aguas, y mediante lanchas se llegaba a la orilla. En 1889, se construyó un muelle de atraque donde se realizaban las operaciones de carga y descarga. A continuación, se construyeron otros tramos de ampliaciones de ese muelle hasta conformar lo que hay en la actualidad. Además, en 1985 finalizó la construcción de una dársena pesquera. La figura 47 muestra la ubicación del Puerto del Rosario.



Figura 48: Ubicación del Puerto del Rosario.

Este puerto recibe mercancía general así como buques de cruceros de turismo. Dispone de un kilómetro de longitud de atraque con calados que varían desde los 3 metros hasta los 12 metros. En la zona de atraque el calado mínimo es de 5 metros (en los muelles más próximos al arranque del espigón), y 15 metros en las posiciones de atraque de las embarcaciones porta-contenedores y de granel líquido (Gas). La siguiente figura determina la configuración en planta del actual Puerto del Rosario.

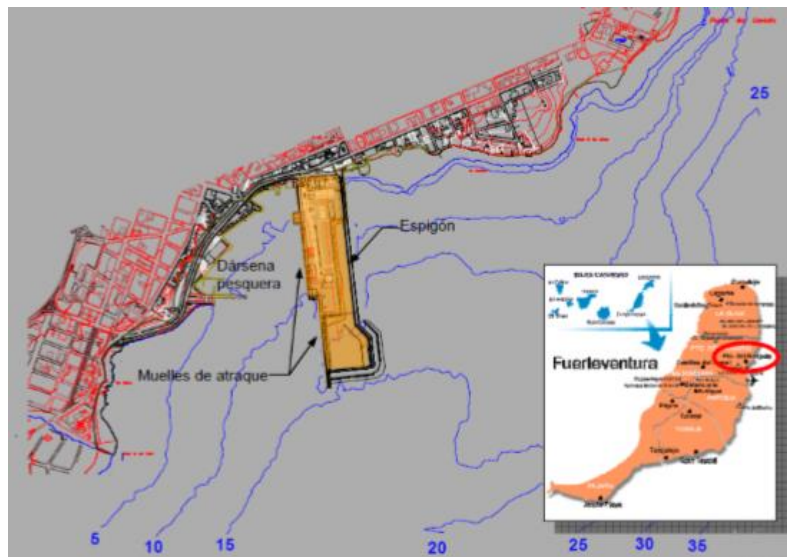


Figura 49: Configuración en planta del actual Puerto de Rosario.

Como se observa en la imagen anterior el Puerto del Rosario se compone de un espigón orientado hacia el Sur. Este tiene 680 m de longitud y una anchura media de 150 m. Este proporciona 550 metros de muelle. Los objetivos de este muelles son proporcionar abrigo necesario para las maniobras de atraque, carga y descarga, mientras que por otro lado cumple la función de muelle de atraque, incluyendo el tránsito y almacenamiento de mercancías y pasaje. En esta imagen se puede observar también la superficie de agua protegida por el espigón (27 Ha).

Asimismo, se puede observar la darsena pesquera anteriormente citada y el pantalán de atraque donde desembarcan los pasajeros y vehículos que llegan de otras islas del archipiélago Canario.

Además, se dispone de 67.500 m² de tierra útil.

Se recuerda con la figura 49 la fotografía aérea del Puerto del Rosario.



Figura 50: Fotografía aérea del Puerto del Rosario.

En esta imagen se observa la embarcación Ro-Ro donde se hallan las rampas para la descarga de vehículos, las instalaciones de descarga y almacenamiento de granel sólido, grúas para contenedores y tuberías de descarga de gas licuado, entre otros.

En esta fotografía se puede ver el último proyecto de ampliación del puerto. Para el presente proyecto se considera que dicha ampliación ya se ha finalizado.

Una vez conocidas las características del puerto actual, se procede a describir las alternativas.

9.2. ALTERNATIVA 1

En esta opción se plantea la ampliación y la mejora de las infraestructuras actuales. La ventaja de esta alternativa es que supone una opción muy económica. Por un lado, el volumen de construcción es menor, además aprovecha las infraestructuras ya operativas por lo que la inversión es mucho menor. Sin embargo, se encuentra limitada por la propia zona urbana y puede surgir un conflicto entre los vehículos que transportan la mercancía del puerto con el tráfico urbano. Desde un punto de vista estético, el frente marítimo de la ciudad se vería afectado por lo que implica la construcción, como pueden ser las grúas o apilado de contenedores u otros. Esta solución puede contemplarse desde dos variantes.

9.2.1. ALTERNATIVA 1A

En esta variante se plantea el desarrollo en la zona litoral abrigada, localizada al oeste del espigón. La ampliación se consigue a través de rellenos y muelles, cuyas dimensiones son los requeridos por los condicionantes operativos.

Consiste en la construcción de la continuación del espigón actual, es decir de un dique de abrigo de 500 metros. Este dique tiene una tipología de secciones verticales. La función de este dique

es colocar instalaciones para el atraque y descarga de buques de gas licuado. Además, para poder formar dos posiciones de atraque a ambos lados del pantalán, se propone la continuidad de este pantalán.

Esta opción propone una mejora del frente marítimo de la ciudad al contemplar la generación de una playa de uso lúdico y la construcción de un Puerto deportivo entre el Este del espigón y la Punta de Gaviota.



Figura 51: Alternativa 1A.

Como se observa en la figura 50, la longitud del muelle aumenta considerablemente, hasta alcanzar los 2400 metros de longitud, con una superficie terrestre 29,2 Ha e implica un volumen de relleno para la superficie terrestre de 2.220.000 m³. Las instalaciones actuales se mantienen en su estado inicial excepto dos nuevas posiciones de atraque que sustituyen el pantalán de ferrys. Las siguientes tres posiciones de atraque corresponden a buques de carga generales de mayor carga general de mayor porte, cruceros y porta-contenedores. La superficie de relleno permite el almacenamiento y acopio de los contenedores.

En cuanto a la gestión del tráfico de vehículos, se considera la disposición de un vial interior paralelo a la actual Avenida Ruperto González, consiguiendo así independizar el tráfico portuario del tránsito urbano. Es decir, la entrada y salida de mercancías del puerto de realiza desde una zona alejada del centro de la ciudad y con enlace rápido a las grandes vías de la isla. Otro punto fuerte de esta opción es la construcción de un paseo marítimo paralelo a las vías con el fin de disminuir el impacto visual y proporcionar un frente marítimo adecuado para la ciudad. De esta forma se reordena urbanísticamente la zona, y se pueden generar además zonas verdes aparcamientos y más paseos.

En lo concerniente al puerto deportivo que se sitúa al este del espigón, se diseña para una capacidad de 320 embarcaciones. Dos diques perpendiculares a la línea de costa con una longitud de 300 metros protegen la zona de atraque. El contradique dispone un morro cuya finalidad es: proporcionar abrigo a las embarcaciones que amarran en el puerto deportivo y ofrecer un apoyo al perfil de la playa que se propone generar. Esta playa tendría 300 metros de longitud dispuestos entre el espigón actual y el puerto deportivo. El paseo marítimo previamente citado acaba en la playa en un área semicircular. Esta zona estabiliza la playa y permite disponer de una zona para ocio o comercial.

El coste económico de esta opción es de 48,45 millones de €, de los cuales el 73% se invierte en el dique de abrigo y un 10% en el relleno.

9.2.2. ALTERNATIVA 1B

Esta variante se basa en la anterior, salvo porque este cumple una función específica : trata de mantener lo más alejado posible el patio de contenedores del frente marítimo de la ciudad. De este modo se disminuye el impacto visual que genera la apilación de contenedores en el frente, se aumenta la seguridad ya que estos se alejan de la ciudad, se aprovechan mejor las zonas de carga y descarga y los portacontenedores se encuentran en las zonas de mayor calado. Además, el puerto deportivo se implanta en la zona protegida por el espigón, limitando así el desarrollo del puerto.

A nivel de construcción, se diseña un dique de abrigo como alargamiento del dique actual, con la misma alineación con una longitud de 420 metros. Como se ha mencionado, los contenedores se quieren mantener lejos del frente marítimo por lo que se amplía rellenando y generando una superficie de tierra de 6 Ha con el fin de almacenar y apilar estos contenedores. Así, se disponen de muelles de atraque de graneles líquidos, contenedores y graneles sólidos así como Ro-Ro.

En relación al dique de ferries, se rellena ganando una superficie de tierra, para poder así aceptar un mayor número de ferries y de cruceros, y por lo tanto un mayor número de pasajeros turísticos.

A continuación de los muelles para cruceros, se pretende generar un relleno para ganar superficie al mar. De esta forma existe una mayor zona de atraque para buques de mercancía general y su almacenamiento.

El puerto deportivo, con una capacidad inferior que la variante anterior con 200 embarcaciones, queda protegido con un dique de 220 metros de longitud, con un contradique de 65 metros. Su navegación no interfiere con la navegación de los buques mercantes.

Por otro lado, la gestión del tráfico rodado así como los vehículos del puerto se mantienen como en la variación 1A, ya que ofrece numerosas ventajas.

Por lo tanto, la superficie terrestre ganada al mar es de 2 Ha con respecto a la situación inicial.

Finalmente, esta alternativa supone una inversión de 40 millones de €, 83% para el dique de abrigo y el 9% para el relleno. Se define la alternativa 1B en la figura 51.



Figura 52: Alternativa 1B.

9.3. ALTERNATIVA 2: PUERTO ACTUAL Y PUNTA DEL GAVIOTO

En esta alternativa se trata de complementar el puerto actual en el límite urbano, entre Punta de los Hornos y Punta del Gavioto, con el fin de mantener y aprovechar las instalaciones ya implantadas. Así se disminuye económicamente la inversión frente al coste que supone un puerto nuevo independiente.

Como se observa en la imagen, el nuevo puerto se localiza al Este de la ensenada, entre Punta de los Hornos y Punta Gavioto.

La desventaja de esta opción es el mantenimiento del tráfico entre ambos puertos, por lo que el tráfico de vehículos se orienta hacia el Norte. Surgen conflictos debido al tráfico y se limita su posible crecimiento.

9.3.2. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La ventaja de este emplazamiento reside principalmente en la batimetría, esta cae rápidamente hasta alcanzar los 20 metros a 200 metros de la costa. Aunque la construcción de muelles y diques resulta más costosa debido al volumen de relleno necesario, se pueden definir a corta distancia de la costa. Esta se puede observar que esta discurre de NE a SW.

9.3.3. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PUERTO

La alternativa 2 se presenta en la figura 52.



Figura 53: Alternativa 2.

El nuevo puerto se define en planta de la siguiente manera: el dique de abrigo parte de Punta de Gavioto en dirección SE hasta alcanzar una profundidad de 22m a unos 500 m de la costa, donde sufre un giro de 90º hacia el SW, siguiendo paralelamente la batimetría unos 350 m. Finalmente prosigue 350 m hacia el Sur.

En cuanto al contradique, parte de tierra en dirección SE desde la Punta de Los Hornos 250 m, donde gira hacia el Sur, siguiendo esta alineación hasta alcanzar una profundidad de 14m. La dársena, orientada hacia el NE-SW, para los muelles de atraque se realiza con un relleno. Además, en los tramos finales del dique y del contradique también se disponen muelles de atraque. Esta dirección es debida a la dirección de los vientos dominantes y reinantes en esta zona.

De esta manera, el nuevo puerto dispone de 1300 m de muelles, cumpliendo los condicionantes operativos del diseño. Estos muelles presentan una profundidad mayor alcanzando los 20m, por lo que pueden atracar embarcaciones mayores.

La superficie de tierra en este nuevo puerto es de 15 Ha y la superficie de agua abrigada es de 22 Ha.

De esta forma, el puerto de Rosario queda dedicado para la llegada de cruceros y de ferries, aunque como ya se disponen de instalaciones de carga y descarga, en función de la demanda del nuevo puerto. El puerto deportivo queda definido entre el espigón y el pantalán de ferries para una capacidad de 500 embarcaciones. Estos no tendrían problemas de calados y un nivel de resguardo frente al oleaje adecuado.

La superficie de terreno es de 22 Ha y 1800 m de muelles.

Desde un punto de vista económico, la inversión necesaria es de 51 millones de €, de los cuales 85 % van dedicados al dique de abrigo y el 6 % al relleno en el nuevo puerto en Punta de Gavioto.

9.4. ALTERNATIVA 3: LA HONDURA

Con el fin de disminuir el coste, se pretende disminuir el volumen de rellenos necesarios: se diseña con una mayor profundidad a la entrada del puerto, y aprovechando los bajos y promontorios.

Un problema habitual es la resolución y la gestión del tráfico que sale del puerto y el tráfico de la ciudad. En esta opción se propone alejar el nuevo puerto en la ensenada que se forma entre las Arenas y La Hondura, manteniéndose dentro de los límites del término municipal. El problema es la necesaria inversión inicial necesaria, ya que se debe realizar un nuevo puerto.

Además, al situarse a las afueras de la ciudad, la zona de terreno entre La Hondura y Punta de las Arenas está sin explotar, por lo que se dispone de grandes superficies para su empleo en polígonos industriales u otros.

9.4.1. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

En la zona del emplazamiento, la batimetría resulta ser cóncava, con una pendiente suave. Frente a Punta de las Arenas, la batimetría es más abrupta y llega a alcanzar pendientes más fuertes a medida que se aproxima a la Punta del Gavioto. Mientras que frente a la Hondura, existe un promontorio con menor profundidad que sigue la orografía que se observa en tierra. La figura 53 ofrece una imagen de la alternativa 3.

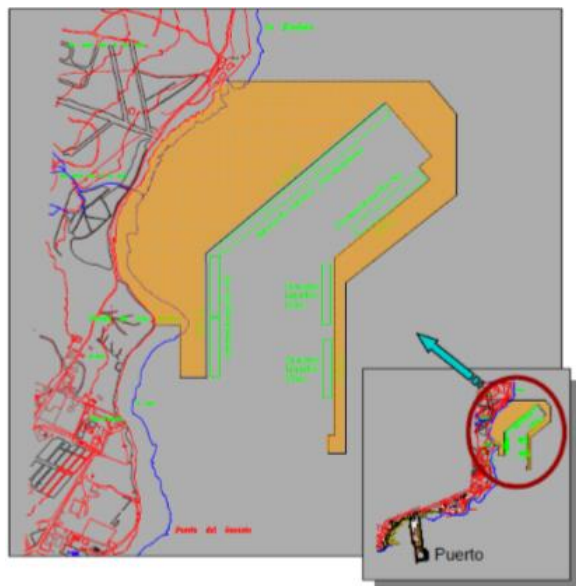


Figura 54: Alternativa 3.

9.4.2. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PUERTO

En comparación con la alternativa 2, las dimensiones del puerto son mucho mayores. Perpendicularmente a la costa de la Hondura, empieza un dique de abrigo hasta alcanzar una profundidad de 20m, entonces modifica su dirección, creando así la dársena del puerto. EL puerto termina con un tramo de 500m, orientado Norte-Sur, donde sigue la cota de batimetría de -22m. De este modo la longitud total del puerto expuesta al mar es de 1950m.

El contradique sale de Punta de las Arenas dirección Sur hasta los 10 m de profundidad. Los muelles de atraque del puerto se dirigen N-S. Así, las posiciones de atraque para graneles líquidos se sitúa a mayor profundidad, y los portacontenedores y Ro-Ro más próximos a tierra. Por lo tanto, en los muelles del Este atracan los porta-contenedores y en los del Oeste atracan en las embarcaciones de mercancía general y gráneles sólidos. Así, existen 1890m de muelles, y una superficie útil en tierra de 29Ha así como una superficie de aguas abrigadas de 34 Ha. El volumen de relleno necesario es de 4 millones de metros cúbicos.

En esta alternativa también se contempla aprovechar el actual puerto del Rosario para el atraque de cruceros, buques de pasajeros y ferries. A diferencia de la Alternativa2, esta vez el puerto actual no se comparte para la descarga y carga de mercancía general. Además, el puerto deportivo queda en la zona protegida del puerto actual, con una capacidad de 500 embarcaciones.

Económicamente esta opción supone una inversión de 85millones de euros, de los cuales el 69% correspondiente al dique de abrigo y el 11% a rellenos en el nuevo puerto en La Hondura.

9.5. ALTERNATIVA: OTRAS UBICACIONES

Se necesita hacer un análisis sobre otras posibles localizaciones del puerto para poder disponer un puerto comercial que pueda acoger la demanda de crecimiento previsto para Puerto del Rosario. El análisis de las condiciones naturales tanto de la costa como de la dinámica marina, de las instalaciones actuales y posibilidad de crecimiento indican que el lugar más adecuado el Puerto de Gran Tarajal. Su ubicación se detalla en la imagen 54.



Figura 55: Localización del puerto de Gran Tarajal.

El servicio de puertos de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias, del cual depende el Puerto de Gran Tarajal, ha realizado recientemente un estudio de ampliación del puerto en el que se contemplaron varias configuraciones y alternativas de crecimiento. En el caso en el que las opciones planteadas en los apartados anteriores no se pudieran llevar a cabo, la denominada Alternativa 6, puede ser una posible alternativa para el crecimiento del puerto del Rosario.

9.5.1. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

La ubicación del puerto de Gran Tarajal es en la costa Sur de la Isla de Fuerteventura, a 10km al Oeste de la Punta Entallada. La costa se sitúa sensiblemente E-W, lo que se diferencia con la orientación general de la isla SW-NE, protegiéndola zona de oleajes dominantes y reinantes ya que la costa de la zona adyacente a Gran Tarajal es abrupta y recortada con importantes acantilados. Estas son las únicas formaciones arenosas relevantes que se presentan en las desembocaduras de los barrancos locales.

En la figura 54 se enseña una fotografía aérea donde se presenta la disposición actual del puerto de Gran Tarajal.

La playa de Gran Tarajal es una gran playa de 600 m de longitud y 5 m de anchura. La arena, dorada oscura, es de tamaño fino-medio. Las cartas náuticas y la geofísica de la zona indican que este es el tipo de arena que se encuentra en los fondos de la ensenada. Unos bajos naturales que limitaban la playa dan origen al puerto del Gran Tarajal. La única instalación portuaria que se hallaba es un muelle de atraque que se construyó sobre dichos bajos. Posteriormente se construyó un dique de abrigo Oeste, compuesto por dos alineaciones, la primera con dirección NW-SE de unos 150 m seguidos de otra de SW-NE de unos 300 m. Así, se consigue abrigar entre el dique Oeste y el muelle es de alrededor de 11 Ha.

9.5.2. DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA

La zona que queda al Oeste del actual dique se propone emplear como área comercial. Siguiendo sensiblemente la batimetría de -10m, del codo de este dique sale otro dique de 350 m de longitud. Este abriga la ensenada del barranco del Aceitún, donde un relleno generaría una superficie de tierra de 25 Ha. Se obtiene así una longitud total de 2200 m y un volumen de relleno de 2.000.000 m³.



Figura 56b: Solucion adoptada

9.6. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

A la vista de las alternativas propuestas, los criterios que se emplearán para evaluarlos son los siguientes:

- Inversión inicial necesaria
- Protección frente al oleaje
- Superficie abrigada
- Superficie de tierra
- Gestión del tráfico
- Reordenación urbana
- Puerto deportivo
- Frente marítimo
- Impacto ambiental
- Impacto visual

A continuación, se da una ponderación a cada criterio así como una puntuación a cada alternativa para cada criterio en la tabla 14.

	Ponderación de cada criterio (Peso)	Alternativa 1A	Alternativa 1B	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Inversión económica	0,3	6	7	5	5	4
Superficie abrigada	0,15	7	7	7	5	5
Superficie de tierra	0,15	8	7	7	5	5
Gestión del tráfico/ Reordenación urbana	0,1	5	6	7	9	5
Puerto deportivo	0,1	5	3	9	9	0
Frente marítimo	0,05	4	6	6	7	5
Impacto ambiental	0,1	6	5	6	5	2
Impacto visual	0,05	5	5	6	5	2
Puntuación total	1	6,1	6,15	6,4	5,9	3,75

Tabla 14: Comparativa de las diferentes opciones.

Se multiplica cada ponderación por la nota por cada criterio, y se suman todos los valores obtenidos.

La mayor puntuación la obtiene la alternativa 2, por tanto, es la que se prevé realizar.

10. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE LA ALTERNATIVA PROPUESTA

Esta solución se caracteriza por la gran superficie de almacenamiento y la separación de este de la ciudad con el fin de impedir el tráfico de vehículos pesados por las avenidas principales de la ciudad y fluidificarlo. Además, disminuye el impacto visual que generan estas zonas de almacenamiento a los turistas de la ciudad.

La figura 55 muestra la solución adoptada en planta.

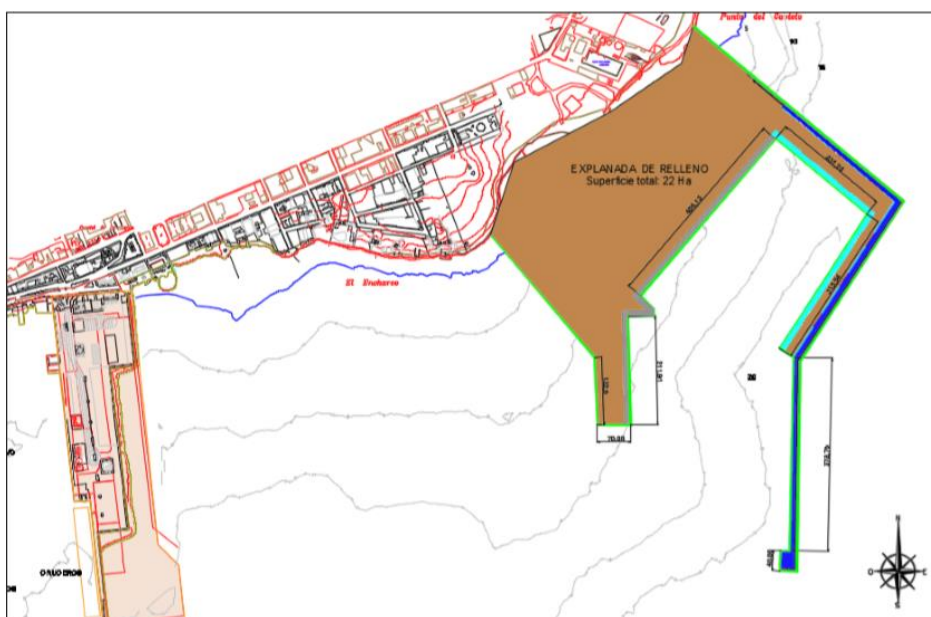


Figura 57: Solución adoptada en planta.

Una vez conocidos el oleaje y obtenidas las dimensiones de la superestructura, se procede a planificar la distribución de las zonas marítimas y terrestres. En la siguiente figura se pueden observar las dimensiones definitivas de los diques y la superficie de tierra que se va a disponer para el puerto comercial. También se muestra las zonas de atraque de los diferentes buques en condiciones normales de operatividad. La figura 56 muestra zonas y áreas del puerto.



11. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE EN EL INTERIOR DEL PUERTO. RÉGIMENES.

El siguiente paso es propagar el oleaje obtenido hasta el interior del puerto y hasta el pie del dique de abrigo. Esto permitirá estudiar los regímenes de oleaje en dichas zonas y poder de ese modo definir el nivel de operatividad del puerto. Esto es necesario para el cálculo del francobordo así como la cota de coronación de los diques de abrigo.

El modelo numérico MSP es el que se emplea para la propagación del oleaje hasta aguas someras. Se emplea este ya que permite definir la reflexión en los contornos. Este interesa en particular en los muelles de atraque, diques y contradiques del puerto. Además, permite definir incluirlos efectos del oleaje como son la difracción, refracción, asomeramiento, rotura y disipación por fondo. Este modelo permite estudiar en el interior del puerto el efecto de la reflexión múltiple de un tren de olas. Este considera además la difracción producida por los distintos muelles, espigones y diques. Existen varios modelos dentro del MSP, pero para este caso se ha empleado el monocromático. Aquí se diferencian dos tipos de análisis: la resolución por elementos finitos con la "mid-slope equation", y la resolución por diferencias finitas de la aproximación parabólica de la "mild-slope equation".

La definición de dicho modelo numérico y su explicación matemática se establecen en el ANEJO 1

11.1.3. MALLA DE PROPAGACIÓN

Las dimensiones del puerto y sus características definen la malla de propagación, así como el oleaje en él, en función del oleaje que se desea propagar (dirección y periodo).

Por tanto, la malla de MSP (aproximación elíptica de pendiente suave) es establecida de la siguiente manera como se observa en la figura 57:

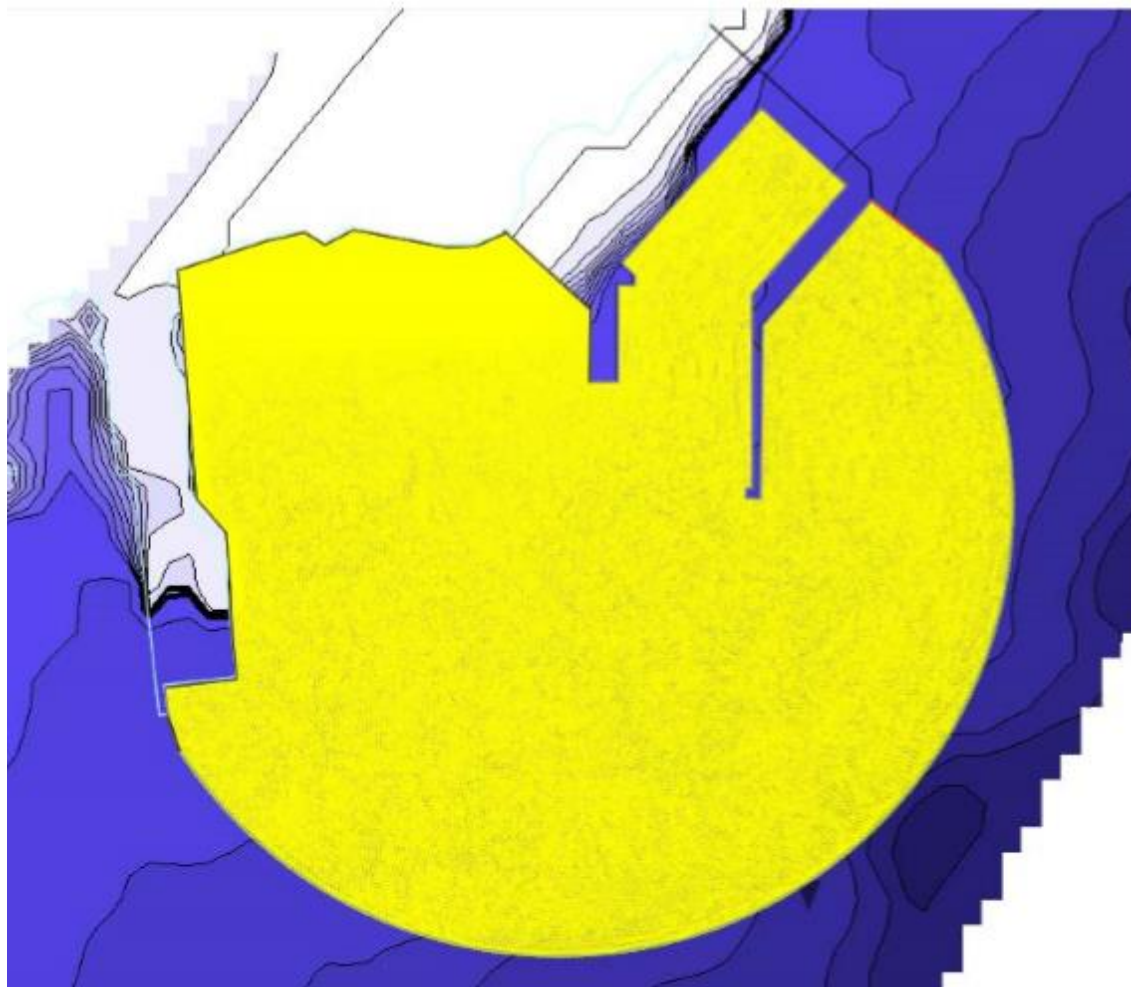


Figura 59: Imagen de conjunto de la malla utilizada.

El semicírculo que se observa se denomina “corona de malla”, donde incide el oleaje (amplitud, dirección y periodo).

Se recuerda que este modelo exige una gran capacidad de memoria, y como se puede observar esta malla es grande, por lo que por incapacidad computacional se ha disminuido los datos a analizar con un umbral de periodos de 6s como mínimo.

Se recuerda que, de los 534.000 estados de mar, se han obviado ya los procedentes de NNW y SSW por su bajo impacto en la zona de estudio. Solo se consideran las direcciones de mayor incidencia.

De los datos proporcionados por el IH Cantabria, se han extraído 50 casos más relevantes. Estos casos están compuestos por la altura significativa, el periodo de pico, y la dirección.

El régimen del oleaje en el interior del puerto se determina tomando estos 50 casos y propagándolos al interior del puerto con la ecuación de la propagación.

Se recuerda que la profundidad en el área de estudio es mayor que 6m, por lo tanto, se establece una nueva hipótesis en el que el oleaje no es rompiente.

Los valores empleados son los que se ven en la tabla 15:

Muelles reflectantes	Zona de incidencia	Coeficientes de reflexión
	Diques de talud	0.3
	Diques y muelles verticales	0.9
	Área de playa entre el actual puerto y la Punta del Gavioto	0.1
Muelles disipativos	Diques de talud	0.3
	Diques y muelles verticales	0.9
	Área de playa entre el actual puerto y la Punta del Gavioto	0.1
	Muelles interiores	0.45

Tabla 15: Coeficientes de reflexión en función del tipo de muelle.

En el análisis se comparará cuál de estos dos casos cumple con todos los requisitos exigidos por la ROM.

Se espera que el caso de los muelles disipativos, la altura de ola sea menor en todas las áreas de los muelles de atraque, permitiendo así una mejor operatividad de las embarcaciones.

Se ha realizado otro código MDA para, tras propagar el oleaje, determinar las alturas de ola de estos 45 casos en el interior del puerto. Las áreas específicas que se requieren son a pie de dique de abrigo, así como las dársenas del puerto, que son los elementos para dimensionar.

Se han estudiado únicamente 45 casos (se recuerda que se tenían 534.00 estados de mar) que se han extrapolado con el Algoritmo de Máxima Disimilitud (MDA). Una vez propagados los casos, se realiza una interpolación no lineal (Método de las funciones Radiales Básicas o RBF) para trasladar toda la base de datos hasta los puntos requeridos.

11.2. REGÍMENES DE OLAJE EN EL PUERTO

Como en el caso de profundidades indefinidas, se necesitan de nuevo conocer los regímenes extremos y los regímenes medios en el interior del puerto.

11.2.1. REGÍMENES MEDIOS

Este régimen es el empleado para calcular las dimensiones:

- Las obras de abrigo e interiores.

- Las cotas de coronación tanto a pie de dique de abrigo.
- Cotas de coronación a pie de contradique.

Este caso se ajusta a un régimen de Weibull de mínimos:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^C}$$

Dónde:

- A es el parámetro de escala y mayor que 0.
- B debe ser menor que el menor de los calores ajustados.
- C el parámetro de forma, y comprendido entre 0.5 y 3.5.

En las siguientes imágenes 58 y 59 se observan El ajuste del régimen medio a Weibull de Mínimos y el régimen medio de altura de ola significativa a pie de dique de abrigo.

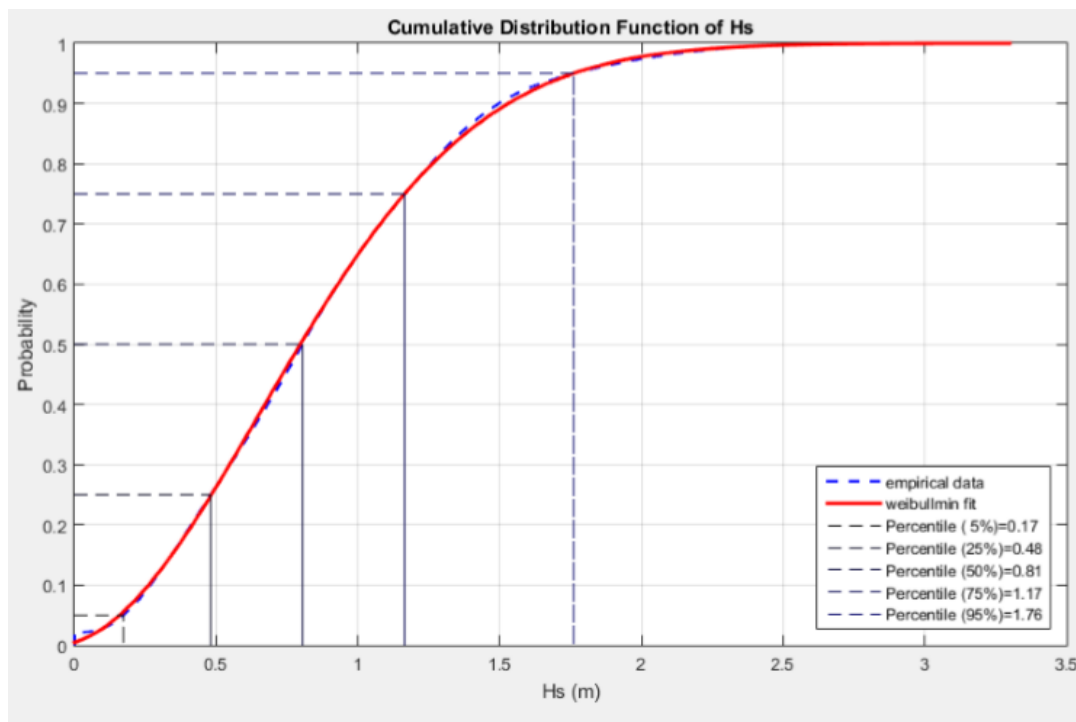


Figura 60: Ajuste del regimen medio a Weibull de Mínimos.

Donde A=0.856, B=0.003913, C=2.046.

Sin embargo, el régimen del oleaje medio a pie del contradique es de tipo Weibull normal :

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{k}\right)^s}$$

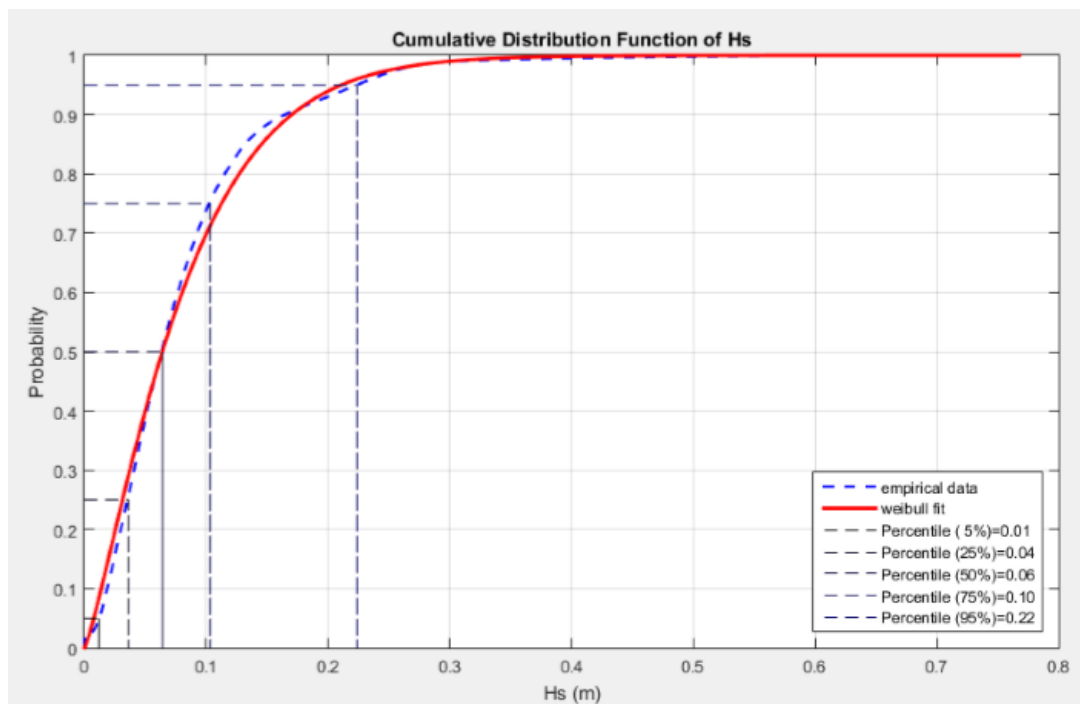


Figura 61: Régimen medio de altura de ola significativa a pie de contradique.

De esta gráfica se puede concluir que el contradique se encuentra protegido, ya que la altura media es de 0.06m. Esto implica, que el oleaje que le afecta es muy bajo, por lo que no será muy necesario protegerlo.

11.2.2. RÉGIMENEXTREMAL

Se recuerda que en un régimen extremal se deben emplear los máximos valores anuales entre 1948 y 2008. En estadística la distribución que se ajusta a este tipo de régimen es la distribución de tipo Gumbel:

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{Hs-A}{B}\right)}}$$

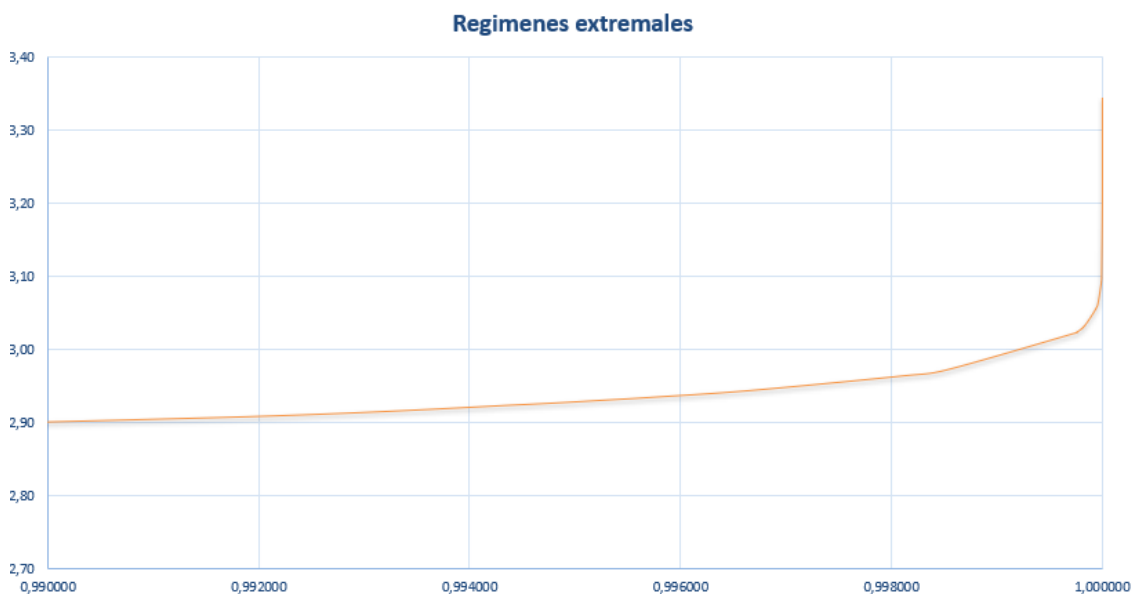


Figura 62: Probabilidad de no excedencia frente a altura de ola significativa a pie del dique de abrigo.

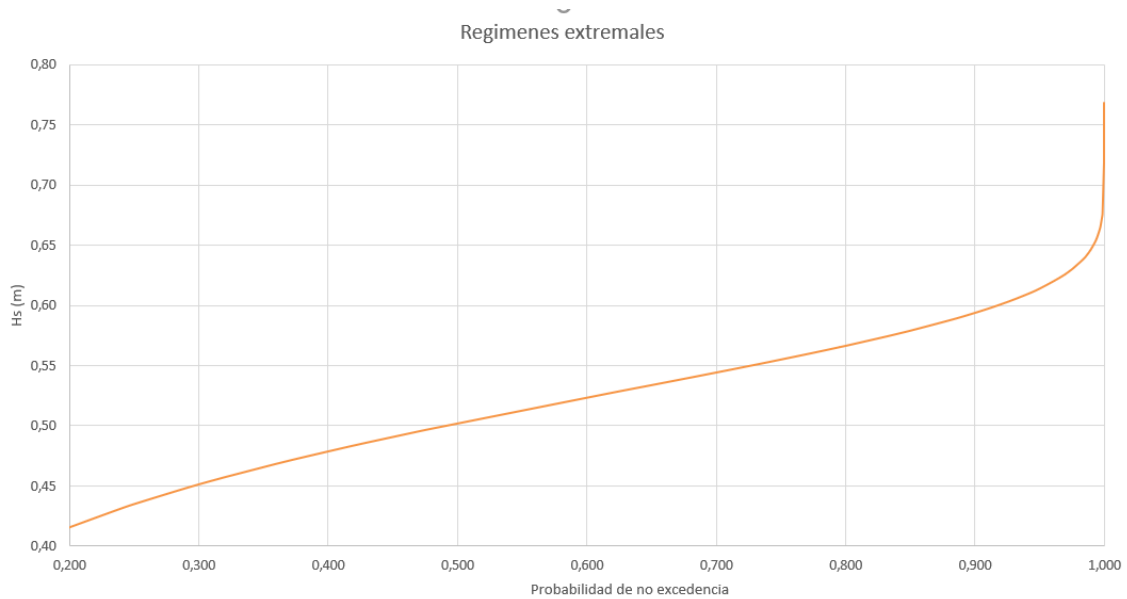


Figura 63: Probabilidad de no excedencia frente a altura de ola significativa en el contradique.

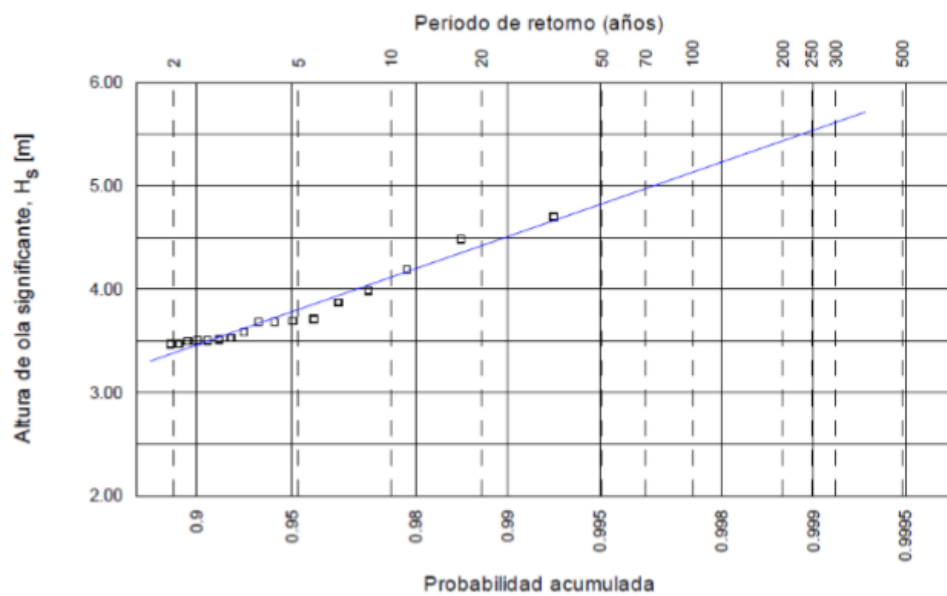


Figura 64: Papel probabilístico de Gumbel

12. DISEÑO FUNCIONAL DE LAS OBRAS DE ABRIGO (OPERATIVIDAD DE LAS DÁRSENAS)

Se recuerda que los índices que permiten determinar la operatividad de las obras (dársenas interiores y obras de abrigo) ya han sido establecidos en apartados anteriores. Estos indican vienen en el carácter general de las obras y son El índice de Repercusión Económica (IRE), el índice de repercusión social y ambiental (ISA), el índice de repercusión económica operativo (IREO) y el periodo de retorno.

Asimismo, antes de comenzar con el análisis de la operatividad de estas obras se recuerda de qué depende cada una de ellas:

- El lugar de atraque de las embarcaciones son las dársenas interiores. Los criterios de operatividad en esta zona implican un límite en la altura de ola y la agitación.
- Las obras de abrigo vienen a su vez condicionadas por el caudal medio de rebase y el límite de peligrosidad.

12.1. OBRAS DE ABRIGO

Primero, se establece la metodología a seguir.

La operatividad mínima de este tipo de obra viene determinada por el Índice de Repercusión Económica Operativo – IREO con un valor del 99%. Se emplea para su verificación el régimen medio de oleaje, y de nuevo se diferencia entre dique vertical y dique en talud.

El límite en este caso viene determinado por el caudal de rebase máximo como se ha especificado con anterioridad.

Para una mejor comprensión de esta metodología se hace un pequeño inciso en el término francobordo.

Con el fin de cumplir con criterios de seguridad, estabilidad y opertividad mencionados anteriormente, se debe disponer la cota de coronación a una altura suficiente. La distancia entre el nivel del mar y la cota de coronación se denomina el francobordo de un dique, como se puede observar en la imagen 64.

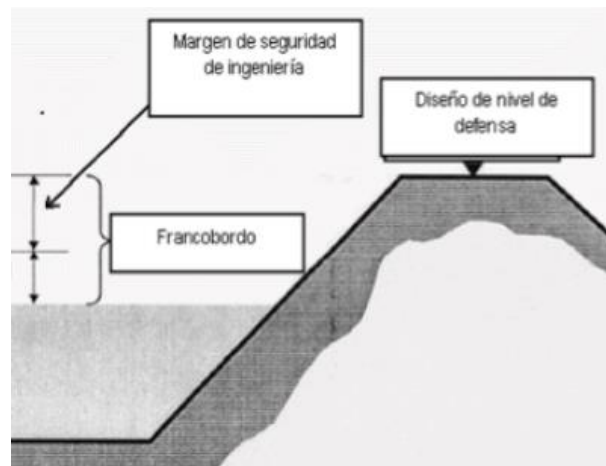


Figura 65: Francobordo de un dique.

En el caso de un dique en talud, El EUROTOP ofrece una formulación para el caudal de rebase que es el siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_s^3}} = 0.2 * e^{-2.3 * \frac{R_c}{H_s * \gamma_f * \gamma_\beta}}$$

Con:

- q el caudal de rebase en l/m/s.
- Hs la altura de ola significativa incidente en metros.
- Rc Francobordo en metros.
- γ_β factor de oleaje oblicuo.
- γ_f factor dependiente de la rugosidad del manto protector.

En cuanto al dique vertical, la fórmula empleada es la de Franco et al (1984):

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_s^3}} = 0.2 * e^{-b * \frac{R_c}{H_s}}$$

Con:

- q el caudal de rebase
- Hs la altura de ola significativa incidente en metros
- Rc el francobordo en metros
- B con un valor de 6.04 si el dique tiene botaolas y 4.3 si no lo tiene.

El proceso de dimensionamiento del francobordo y por tanto de la cota de coronación, es un proceso iterativo: se definen diferentes valores has obtener el valor que cumple con la condición límite.

Para las obras de abrigo, se han buscado los resultados para diques en talud y diques verticales.

Se empieza con los diques en talud.

Antes de nada, se establece el valor límite que ofrece la tabla de Franco et al (1994) figura 63, donde el límite de rebase es de 0.3 l/s/m, es decir el límite de peligrosidad para personas.

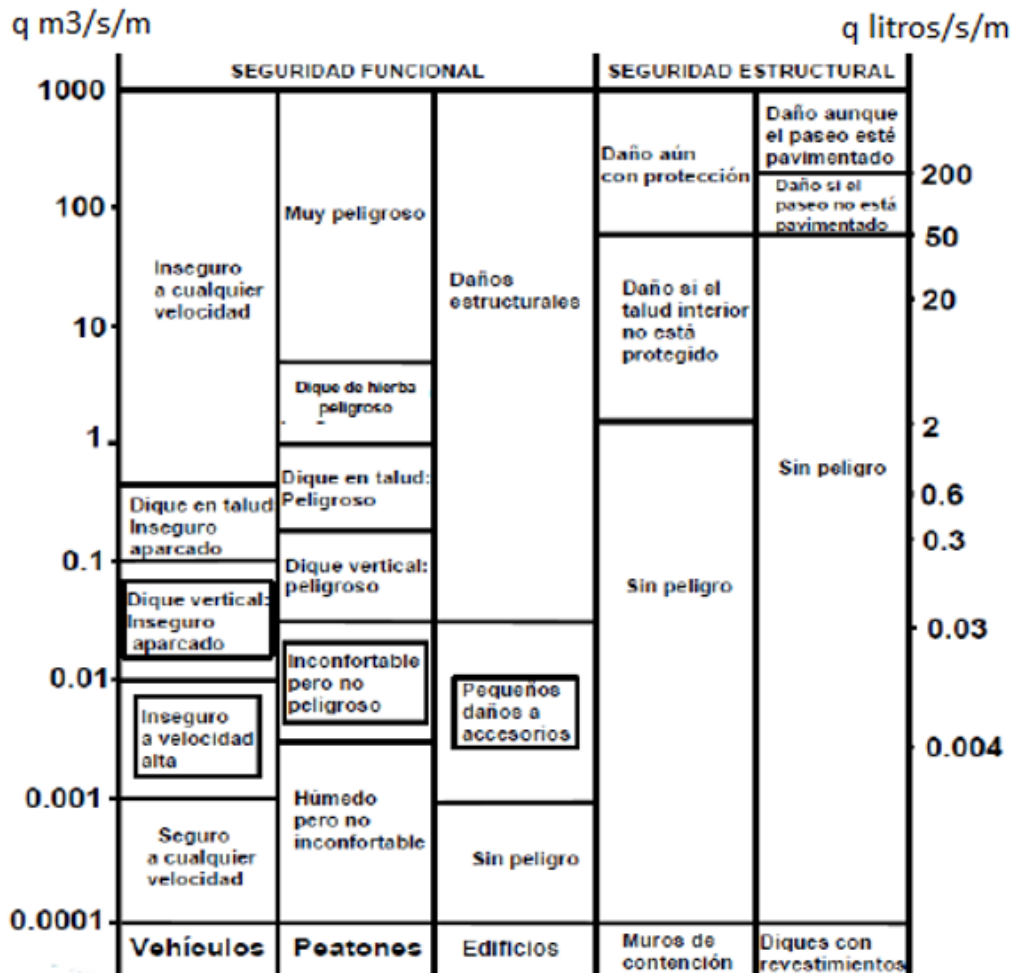


Figura 66: Límites ofrecidos por Franco et al (1994).

Los valores de los coeficientes son los siguientes:

γ_b 1 ya que no hay oleaje oblicuo.

γ_f 0.45 al ser un dique formado por cubos de hormigón posicionados de manera asimétrica.

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_s^3}} = 0.2 * e^{-2.3 * \frac{R_c}{H_s * \gamma_f * \gamma_b}} = 0.2 * e^{-2.3 * \frac{R_c}{H_s * 0.45 * 1}}$$

Los valores del francobordo que se desean estudiar son los siguientes: $R_{C1} = 3.5\text{m}$, $R_c = 4\text{m}$ y un valor intermedio $R_c = 4.2\text{ m}$.

Se procede a comparar los valores obtenidos para caudal de rebase de los 3 valores analizados y su probabilidad de excedencia con las condiciones límites. Se obtiene la gráfica 67 que se observa:

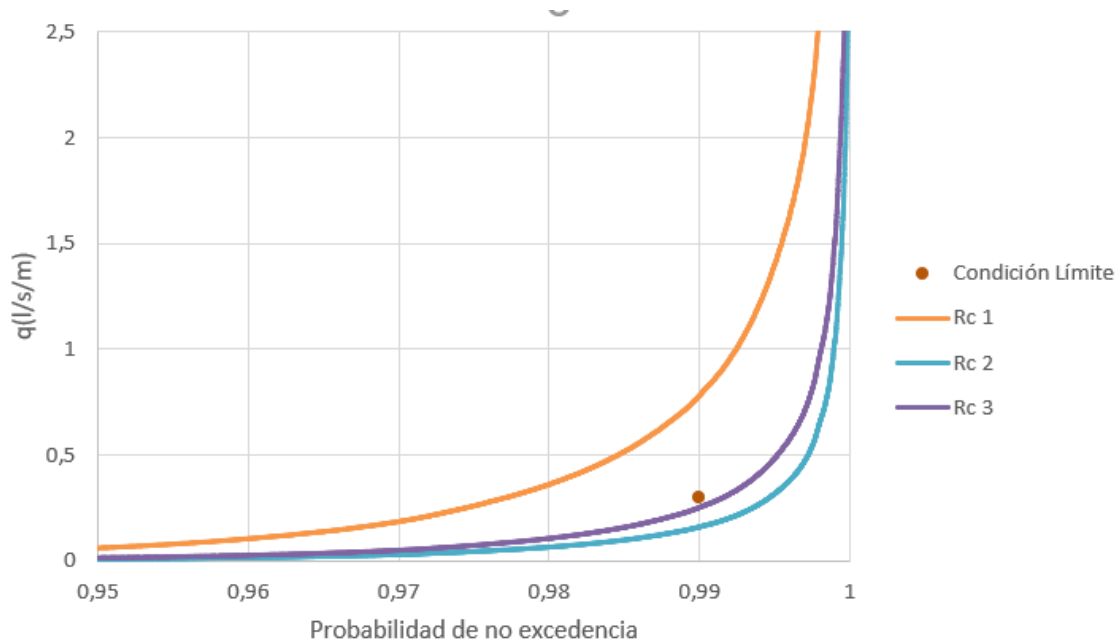


Figura 67: Comparación de las diferentes alturas de francobordo y las condiciones de operabilidad.

La condición límite se cumple para el francobordo de 4 y 4.2m. Parece más óptimo tomar el valor de 4m. Este cumple la operatividad exigida del 99% y con un caudal de rebase de 0.252 l/s/m es inferior a los 3 l/s/m exigidos.

En el caso del dique vertical, la condición límite es de nuevo la suspensión de las actividades portuarias y el fallo operativo de la obra. La tabla de Franco et al es de nuevo la que se emplea, estableciendo un límite por peligrosidad para personas de 3 l/s/m (tabla mostrada en figura 66).

El caudal de rebase se determina empleando la formulación de Franco et al:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_s^3}} = 0.2 * e^{-b * \frac{R_c}{H_s}}$$

Es necesario emplear un botavolas que ayude a reducir el rebase, por lo que el coeficiente b deberá tener un valor de 6.04.

Se ha determinado el caudal de rebase para los 534.000 estados de mar diferentes para 3 valores diferentes de francobordo: 2m, 3m y 4.2m.

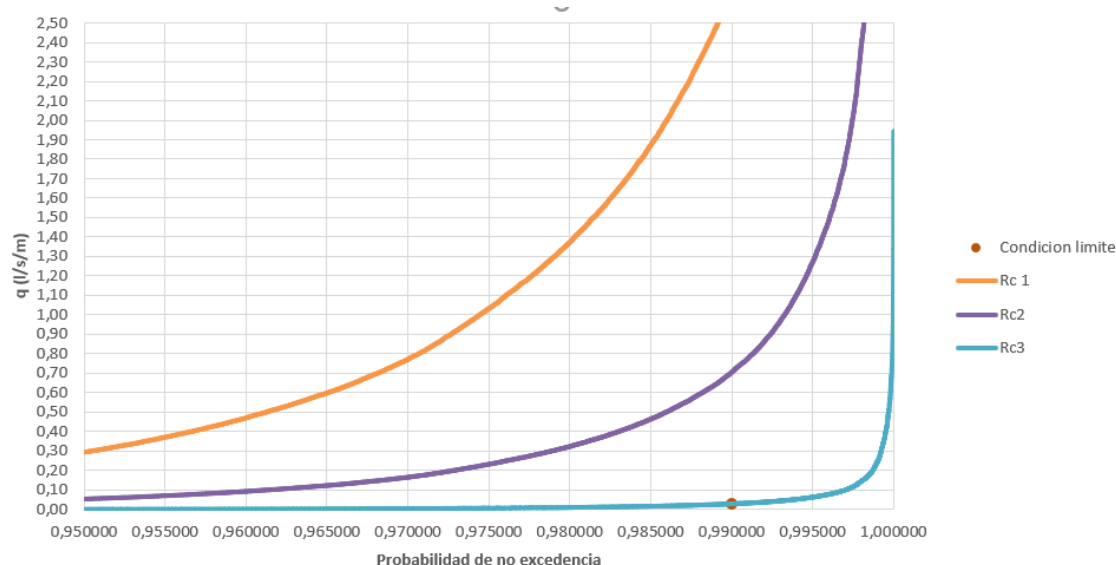


Figura 68: Caudal de rebase frente a francobordos

Comparación del valor límite con el Régimen medio de caudal de rebase para los francobordos: Rc1 = 2 m; Rc2 = 3 m y Rc3 = 4,2 m.

Como puede observarse en la figura 68, la condición de operatividad es cumplida por el franco bordo de 4.2 m con un rebase del 0.0285 l/s/m y una operatividad del 99%.

12.2. OBRAS INTERIORES

De nuevo, antes de nada, se explica el método de cálculo primero para la operatividad de las obras interiores.

Esta operatividad es de servicio, por lo que se deben emplear los regímenes medios de oleaje. Con ella se busca a obtener la agitación interior que proviene de la difracción, asomeramiento, refracción y transmisión del oleaje debido al rebase del dique. Es una verificación que se debe realizar para cada una de las dársenas e impuesta por la ROM. Este límite viene dado por “Índice de Repercusión Económica Operativo – IREO. En el apartado anterior se han determinado los diferentes coeficientes de agitación. El modelo MSP permite evaluar los diferentes coeficientes de agitación en cada dársena asociados a los 534.000 estados de mar a pie de dique. Con el fin de calcular el régimen medio del oleaje real en las dársenas, A los coeficientes de agitación se les debe de añadir los coeficientes de transmisión, cuyo valor viene determinado por el francobordo del dique.

Para el estudio de los coeficientes de transmisión se diferencian entre dique vertical y dique en talud.

En el caso de dique vertical predomina la formulación de Kondo Y Sato:

$$C_T = 0.3 * \left(1.5 - \frac{R_c}{H_l} \right) \text{ para } 0 \leq \frac{R_c}{H_l} \leq 1.25$$

En cuanto a los diques en talud la determinación del coeficiente de transmisión bien dado por Van der Meer (1990):

$$C_T = 0.8 \text{ para } -2.00 \leq \frac{R_c}{H_I} \leq -1.13$$

$$C_T = 0.46 - 0.3 * \left(\frac{R_c}{H_I} \right) \text{ para } -1.13 \leq \frac{R_c}{H_I} \leq 1.2$$

$$C_T = 0.1 \text{ para } 1.2 \leq \frac{R_c}{H_I} \leq 2.00$$

Como se ha descrito previamente una vez se tienen los coeficientes de transmisión se aplicarán los coeficientes de agitación.

El régimen medio se obtiene realizando la suma cuadrática de las alturas de ola en propagación y en transmisión.

$$H_{total} = \sqrt{H_{propagación}^2 + H_{transmisión}^2}$$

Se recuerda que la condición de operatividad viene marcada por una operatividad superior al 85% para los muelles de graneles sólidos y líquidos y del 99% en caso de mercancía general.

Se recuerda de los apartados anteriores que las áreas 2 ,4, 5 y 6 se emplean para graneles mientras que las áreas 1,2 y 3 se utilizan para este segundo propósito. Se nota que el área 2 se emplea para ambos casos.

La condición límite para la operatividad para cada una de las zonas de atraque es establecida por la ROM 2.0-11 (tabla 3.2.1.3). Esta tabla 16 recoge en función de la embarcación y del tipo de mercancía la altura de ola necesaria.

Tabla 3.2.1.3. Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre

A. MUELLES Y PANTANALES	Velocidad absoluta del viento $V_{10,1 \text{ min}}$	Velocidad absoluta de la corriente $V_{c, 1 \text{ min}}$	Altura de la ola H_s
1. Maniobra de atraque de buques			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	17,0 m/s	1,0 m/s	2,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	10,0 m/s	0,1 m/s	1,5 m
2. Paralización operaciones carga y descarga (para equipos convencionales)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle			
■ Petróleos			
< 30.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
30.000-200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,0 m
> 200.000 TPM	22 m/s	1,5 m/s	2,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
Descargando	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,2 m
> 60.000 m ³	22 m/s	1,5 m/s	1,5 m
■ Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	1,5 m/s	0,5 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	1,5 m/s	0,6 m
Acciones en sentido transversal al muelle			
■ Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0,7 m/s	1,5 m
■ Graneleros			
Cargando	22 m/s	0,7 m/s	1,0 m
Descargando	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Transportadores de Gases Licuados			
< 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	0,8 m
> 60.000 m ³	16 m/s	0,5 m/s	1,0 m
■ Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores	22 m/s	0,7 m/s	0,8 m
■ Portacontenedores, Ro-Ros y Ferris	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Transatlánticos y Cruceros (1)	22 m/s	0,5 m/s	0,3 m
■ Pesqueros de pesca fresca	22 m/s	0,7 m/s	0,4 m
3. Permanencia de buques en muelle (5)			
■ Petroleros y transportadores de Gases Licuados			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	30 m/s	2,0 m/s	3,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	25 m/s	1,0 m/s	2,0 m
■ Transatlánticos y Cruceros (2)			
Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	1,0 m
Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,7 m
■ Embarcaciones deportivas (2)	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido longitudinal al muelle	22 m/s	1,5 m/s	0,4 m
■ Acciones en sentido transversal al muelle	22 m/s	0,7 m/s	0,2 m
■ Otro tipo de buques	Limitaciones impuestas por las cargas de diseño de los muelles, compatibles con configuraciones de amarre que garanticen la seguridad del buque		

Tabla 16: Valores umbrales de los agentes climáticos y océano-meteorológicos que generalmente se adoptan como limitativos de diferentes modos de parada operativa en las obras de atraque y amarre.

A continuación, se procede a explicar las diferentes áreas que se consideran dentro de la zona de amarre.

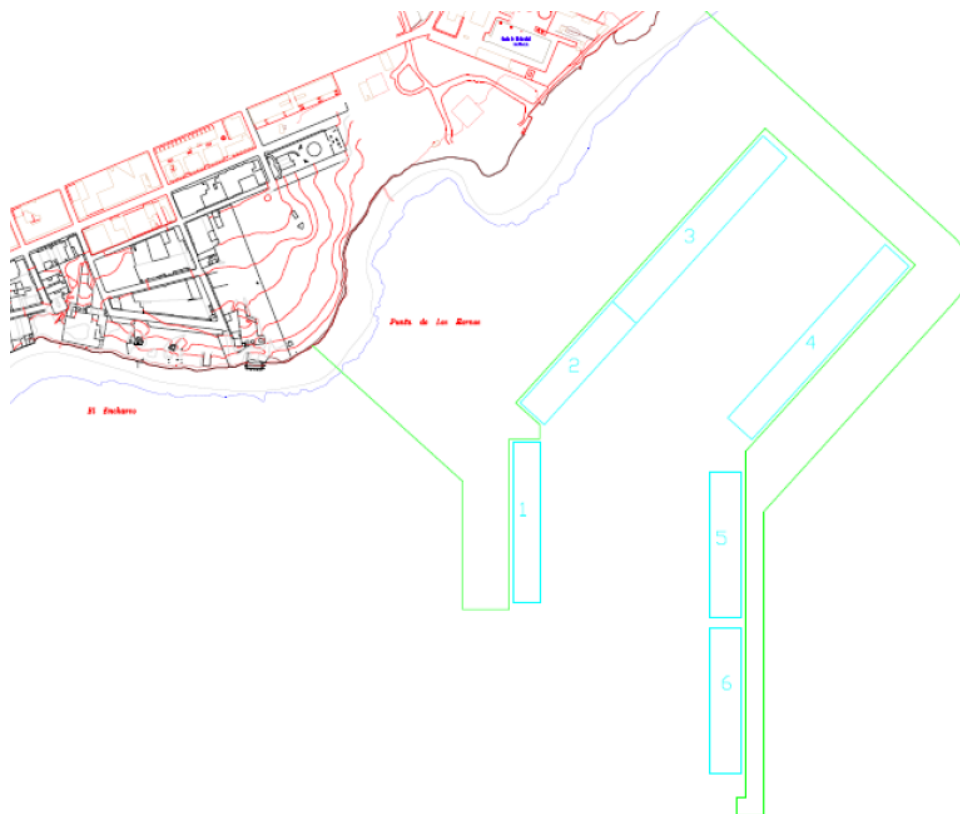


Figura 69: Áreas en el interior del puerto

Los límites de operatividad se diferencian en mercancías, graneles sólidos y líquidos, por lo que son los siguientes dados en la tabla 17:

Área	Utilización	Hsmáx [m]
1,2 y 3	Contenedores	0.5
4	Graneles sólidos	1
5 y 6	Graneles líquidos	1.2

Tabla 17: Altura de ola máxima por área.

Las formulaciones del dique en talud y del dique vertical ofrecen coeficientes de transmisión diferentes, por lo que se toma el valor correspondiente a la peor situación. Se nota que ese coeficiente debe sumarse al coeficiente de agitación. Al comparar estos valores se observa que el dique en talud genera un mayor coeficiente de transmisión.

De nuevo el método implica iteraciones. Se empieza tanteando unos valores de francobordo de 4m en el dique en talud y 4.2m en el dique vertical. Se verifica a continuación si cumplen los criterios de caudal de rebase y las condiciones de operatividad mínima.

Se deben ajustar los datos del oleaje, es decir los regímenes medios del oleaje considerando la transmisión de energía sobre las obras de abrigo. Se emplea para ello una función de tipo Log-Normal:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2 * \pi} \left(\log \left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1 \right) \right)^{\frac{1}{2}}} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{\log(x) - (\log(\mu) - \frac{1}{2} * \log \left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1 \right))}{\log \left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)^2} dx$$

Con:

- μ la media de esta distribución
- σ la desviación típica.

Para el francobordo de 4 m se procede a comparar los valores obtenidos con un coeficiente de reflexión del 45% y del 90%. Se procede a comparar el cumplimiento de los límites con los diferentes coeficientes de reflexión a través de las tablas 18 y 19.

Área	Coeficiente de reflexión	Operatividad requerida	Hs máx	Hs (operatividad)	Cumplimiento/Incumplimiento
1	90%	99%	0.5	0.68	No cumple
2	90%	99%	0.5	0.63	No cumple
3	90%	99%	0.5	0.54	No cumple
4	90%	85%	1	0.61	Cumple
5	90%	85%	1.2	0.22	Cumple
6	90%	85%	1.2	0.25	Cumple

Tabla 18: Cumplimiento de los límites considerando un coeficiente de reflexión del 90%

Área	Coeficiente de reflexión	Operatividad requerida	Hs máx	Hs (operatividad)	Cumplimiento/Incumplimiento
1	45%	99%	0.5	0.54	No cumple
2	45%	99%	0.5	0.47	Cumple
3	45%	99%	0.5	0.40	Cumple
4	45%	85%	1	0.43	Cumple
5	45%	85%	1.2	0.20	Cumple
6	45%	85%	1.2	0.24	Cumple

Tabla 19: Cumplimiento de los límites considerando un coeficiente de reflexión del 45%

Al considerar muelles con mayor capacidad de disipación, se observan mejores resultados. Los 4 m de francobordo cumplen las condiciones requeridas.

El incumplimiento del área 1 se considera irrelevante ya que el área 2 y 3 cumple. El área 1 y estas dos áreas estando dedicadas al mismo tipo de tráfico por lo que se puede tomar la medida de impedir la operatividad de la dársena 1 en caso de temporal y desviarla a las dársenas 2 y 3.

Se concluye que los francobordos serán de 4 m en caso de dique en talud y 4.2 m en caso de dique vertical.

13. DISEÑO ÚLTIMO DE LAS OBRAS DE ABRIGO

13.1. CONTRADIQUE: DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIONES

Antes de nada, para este apartado se recuerda que el periodo de retorno es de 475 años, con una probabilidad de no excedencia del 99.8%. Esta información es primordial para el cálculo del dique en talud. En la zona más lejana a tierra del dique de abrigo, el fondo tiene una pendiente demasiado grande como para realizar diques verticales por lo que se por lo que se realizará en los primeros 500 m un dique en talud, cuya sección tipo se muestra en la figura 67.

Esta tipología ofrece más ventajas como es la poca exigencia de la cimentación, el método constructivo resulta más simple, esta estructura es un gran disipador de energía del oleaje, proporciona una mayor flexibilidad y resistencia ante fallos, averías...

Sin embargo, este tipo de dique tiene un mayor coste ya que necesita mayor cantidad de materiales.

El diseño último de las obras de abrigo implica el diseño de los siguientes elementos:

- Manto principal
- Manto secundario
- Espaldón

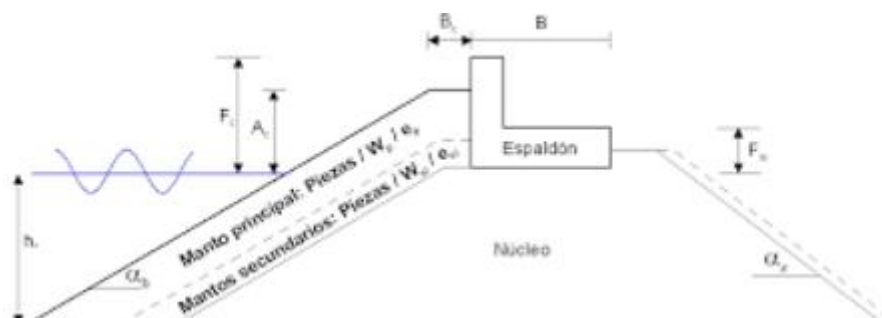


Figura 70: Dique en talud con sus elementos correspondientes. Espaldón, manto principal, manto secundario.

Para estos elementos la verificación a realizar es la estabilidad, es decir el fallo último. Por ello para estas comprobaciones se empleará un régimen extremal de oleajes de pie de dique, con una altura de ola asociada de 2.95m a los 475 años.

La relación altura de ola y periodo de pico asociado a pie de dique sigue aproximadamente una función cúbica $y=0.13305x^3 - 0.85733x^2 + 3.5621x + 2.744$

Una función cúbica relaciona la altura de ola con el periodo de pico. De este modo se obtiene un periodo de pico de 7.44 s asociado a una altura de ola significativa de 2.95m. Para el cálculo del periodo medio se emplea la siguiente formulación:

$$Tp = 1.2 * Tm$$

lo que da un valor de 6.2s de periodo medio.

13.1.1 Mantos: principal y secundario

EL peso de las piezas del manto principal se obtiene con la formulación de Losada y Gimenez-Curto (1979):

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_1^3 * \psi$$

Con:

- γ_w el peso específico del agua del mar.
- ψ la función de estabilidad determinada con la tabla de Losada y Desiré (1985).
- Sr la relación entre el peso específico del material y el del agua.
- H_{50} la altura de ola media de las 50 olas mayores que llegan en un temporal de cálculo. Este se ha obtenido con los siguientes valores: altura de ola significativa 2.95 m, periodo de pico 9.21 segundos, periodo medio 6.58 seg y duración 6 horas.

El número de olas del estado de mar es el siguiente:

$$N = \frac{\text{duración} * 3600}{T_m} = \frac{6 * 3600}{6.2} = 3485 \text{ olas}$$

$$H_{50} = H_{\frac{50}{N}} = H_{\frac{50}{3485}} \cong H_{\frac{1}{65}}$$

Se considera una distribución del oleaje de tipo Rayleigh y se entra en la tabla de distribuciones:

N	$H_{1/N} / H_{rms}$	$H_{1/N} / \bar{H}$	$H_{1/N} / \eta_{rms}$	$H_{1/N} / H_{qn}$
500	2.680	3.023	7.580	1.075
200	2.503	2.823	7.078	1.087
100	2.359	2.662	6.671	1.099
50	2.206	2.488	6.239	1.115
40	2.157	2.435	6.099	1.123
30	2.085	2.353	5.895	1.131
25	2.042	2.303	5.775	1.138
20	1.984	2.239	5.609	1.146
10	1.800	2.030	5.090	1.186
5	1.591	1.795	4.499	1.254
3	1.416	1.597	4.004	1.351
1	0.886	1.000	2.505	—

Tabla 20: Distribución del oleaje de Rayleigh.

$$H_{\frac{1}{65}} = 2,28 * H_{rms} = 2,28 * \left(\frac{H_s}{1,416} \right) = 4,75 \text{ m}$$

Se hacen las siguientes asunciones:

- $\cotan(\alpha)=1.5$
- los bloques empleados son de $a \times a \times a$.

Con esto se entra en la tabla de Losada y Desiré para los valores máximos de la función de estabilidad.

TIPO BLOQUE	$a \times a \times a$	$a \times a \times 1.5a$	$a \times a \times 2^a$
$\cotan \alpha$	1.5 2.0 2.5	1.5 2.0 2.5	1.5 2.0 2.5
Inicio avería	0.060 0.047 0.043	---- 0.084	0.120 ---- 0.116
Avería Iribarren	0.033 0.028 0.024	---- 0.030	0.042 ---- 0.038
Destrucción	0.027 0.022 0.018	---- 0.021	0.035 ---- 0.027

Tabla 21: Tabla de Losada Y Desiré para la función de estabilidad.

Con los valores que se tiene la función de estabilidad obtenida es de 0.06.

El peso de las piezas de hormigón del manto principal es de:

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_{50}^3 * \varphi = 10250 * \frac{\left(\frac{23000}{10250}\right)^3}{\left(\left(\frac{23000}{10250}\right) - 1\right)^3} * 4,75^3 * 0,06 = 76842,0N$$

$$W = 8 Tn$$

El espesor del manto viene dado por:

$$a = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{8 Tn}{2,3 Tn/m^3}} = 1.5m$$

La capa está formada por dos piezas por lo que su espesor será de 3m.

El peso de las piezas del primer manto secundario viene establecido por una relación con el peso de las piezas del manto principal de 10:

$$\frac{W_{principal}}{W_{primer secundario}} = 10$$

El peso de las piezas es de 900 kg. Este peso se encuentra entre el intervalo de 400 kg y 1500 kg.

El espesor de estas piezas de escollera es de:

$$a = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{0.95 Tn}{2,6 Tn/m^3}} = 0,715m$$

Esta capa también está formada por dos piezas por lo que el espesor será de 1.43m.

El peso de las piezas del segundo manto secundario viene también establecido por una relación entre 10 y 20 veces con el peso de las piezas del primer manto secundario:

$$10 \leq \frac{W_{\text{primer secundario}}}{W_{\text{segundo secundario}}} \leq 20$$

Se tomará un valor medio de 15, con lo que se obtiene un peso de 63.3 kg. Este valor entra en el rango de pesos del núcleo interior por lo que se desprecia. No se requiere un segundo manto secundario.

EN cuanto al núcleo del dique, se empleará todo-uno de cantera sin finos. La granulometría se encuentra entre los intervalos

$$1 < W_{\text{nucleo(kg)}} < 100$$

Los márgenes que se permiten para este material son de máximo un 10% del material inferior a 1kg y un 5 % de material superior a 100kg.

En la fase de construcción los camiones deben de poder circular por la cota de coronación sin ser afectados por el rebase de las olas. Por tanto, esta cota e coronación debe de situarse a 1m por encima de la carrera de marea, es decir a 3.8 m sobre el cero del puerto. Sumando el espesor de los mantos 4.43m a los 3.8 m del núcleo se obtiene 8.23m de altura de coronación. Anteriormente se ha calculado la cota de coronación del espaldón 4 m sobre el nivel del mar, a los cuales sumándoles los 2.8 metros de carrera de marea, da un valor de 6.8m.

Por lo tanto, la diferencia entre los mantos de protección y el espaldón es de 1.43m.

Si se quiere mantener el espaldón a la misma cota que los mantos, se deberá de apoyar sobre el manto secundario en lugar de sobre el núcleo (nota para ello se deberá de regularizar la zona con grava).

Se procede a mostrar la distribución de las presiones que afectan al dique en la figura 71.

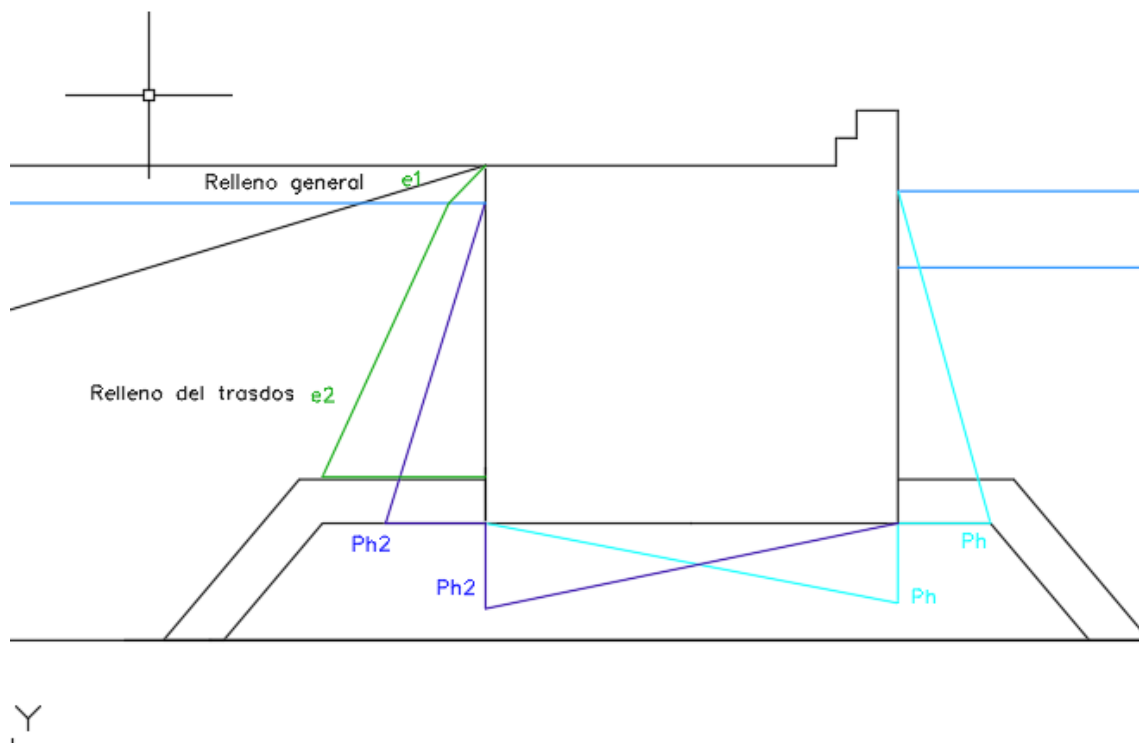


Figura 71: Distribución de las presiones que afectan al dique.

13.1.2. ESPALDÓN

La comprobación de las dimensiones del espaldón se realiza verificando su estabilidad frente al vuelco y al deslizamiento.

En este se producen dos leyes de presiones diferentes:

La primera es la presión dinámica (P_d o P_{so}) debido al impacto del oleaje sobre el espaldón. La segunda es la presión pseudo-hidrostática (P_r) que se da en la cara frontal del mismo.

Las distribuciones de las presiones que afectan al espaldón se exponen en la figura 72.

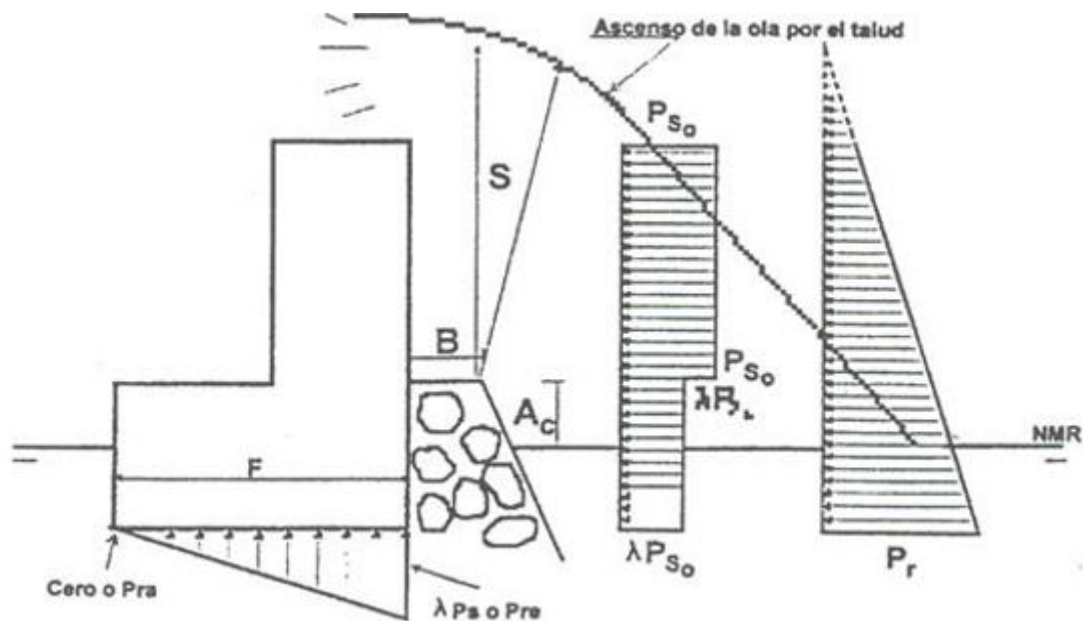


Figura 72: Distribución de las presiones que afectan al espaldón.

Para el cálculo del espaldón se emplea la altura de ola media máxima H_{max} , que se obtiene de la siguiente tabla de distribución del oleaje de Rayleigh:

N	$\frac{H_{max, N}}{H_{rms}}$	$\frac{\bar{H}_{max, N}}{H_s}$	$\frac{\tilde{H}_{max, N}}{H_{rms}}$	$\frac{\tilde{H}_{max, N}}{H_s}$
100	2.280	1.611	2.146	1.516
200	2.427	1.751	2.302	1.626
500	2.609	1.843	2.493	1.761
1000	2.738	1.934	2.628	1.857
2000	2.862	2.022	2.757	1.948
3000	2.932	2.071	2.830	1.999
4000	2.980	2.105	2.880	2.034
5000	3.017	2.131	2.918	2.062
10000	3.130	2.211	3.035	2.144

Tabla 22: Distribución del oleaje de Rayleigh.

En el caso de estudio el número de olas de un temporal típico de cálculo es de 3282 olas.

$$H_{max}(N = 3282 \text{ olas}) = 2,08 * 2,95 = 6,14m$$

Este proceso es iterativo por lo que se empieza proponiendo unas dimensiones iniciales. Estos deberán de cumplir los criterios de seguridad y estabilidad.

La diferencia entre los 6.8m de la cota de coronación del espaldón y los 3.8 m de la cota de coronación del núcleo sobre el que se apoyan determinan una altura del espaldón de 3m. La anchura del espaldón losa incluida es de 10m. La anchura del espaldón propiamente dicho es de 3m y el grosor de la losa 0.5m.

Las presiones dinámicas se componen de dos partes diferenciadas de valores P_d y λP_d . Estas leyes son de tipo uniforme. Las presiones dinámicas en todo el espaldón serán las mismas λP_d ya que la berma alcanza una cota de coronación igual al espaldón. Esta se define como:

$$\lambda P_d = \lambda \alpha \rho g s$$

Con:

$$s = \text{Ascenso de la ola por el talud} = H_{max} \left(1 - \frac{A_c}{R_u}\right)$$

$$\alpha = 2,9 * \left(\frac{R_u}{H_{max}} \cos \beta\right)^2$$

$$\lambda = 0,8 * e^{-10,9 * \frac{B}{L}}$$

En nuestro caso A_c es igual a la diferencia entre la cota de coronación de 6,8 metros del espaldón y los 2,8 metros de carrera de marea; es decir $A_c = 4 \text{ mm}$

$$L = \frac{9,8 * T_p^2}{2 * \pi} * \tanh\left(\frac{2 * \pi * h}{L}\right) \text{ Teniendo en cuenta } h = 23 + 2,8 = 25,8 \text{ L} = 116,78 \text{ m}$$

$$I_{ro} = \frac{1/1,5}{\sqrt{6,14 / 1,56 * T_p^2}} = 4,2$$

$$R_u = H_{max} * A_u * (1 - e^{B_u * I_{ro}}) = 5,42$$

Por tanto se obtiene que:

$$s = \text{Ascenso de la ola por el talud} = 6,14 \left(1 - \frac{4}{5,42}\right) = 1,61 \text{ m}$$

$$\alpha = 2,9 * \left(\frac{5,42}{6,14} \cos \left(\arctg \left(\frac{1}{1,5}\right)\right)\right)^2 = 1,56$$

$$\lambda = 0,8 * e^{-10,9 * \frac{3 * 1,5}{116,78}} = 0,53$$

Así el valor de la presión dinámica es de:

$$\lambda P_d = 1,61 * 1,56 * 0,53 * 9,81 * 10250 = 13385,03 \text{ Pa}$$

Las subpresiones siguen una ley triangular cuyo valor máximo es de λP_d en la zona delantera y un valor nulo en la zona posterior.

El valor de las fuerzas laterales y verticales generadas por la presión dinámica son por tanto:

$$F_{h1} = 13385,03 * \text{Altura espaldón} = 13385,03 * 3 = 40164,09 \text{ N}$$

$$F_{v1} = 0,5 * 13385,03 * (\text{Esp} + \text{Losa}) = 0,5 * 13385,03 * 10 = 66925,15 \text{ N}$$

Las presiones de tipo pseudo-hidrostáticas tienen forma triangular, donde el máximo es en la base del espaldón (P_r) y el mínimo en el punto máximo hasta donde asciende la ola. La ecuación que define esta ley de presiones es la siguiente:

$$P_h = \mu * \rho * g * (s + Ac - z)$$

En cuanto a las subpresiones de este tipo de presión son de tipo trapezoidal, con P_r la presión que se ejerce en la base del espaldón.

La figura 73 que se muestra a continuación determina el coeficiente μ en función de H/L .

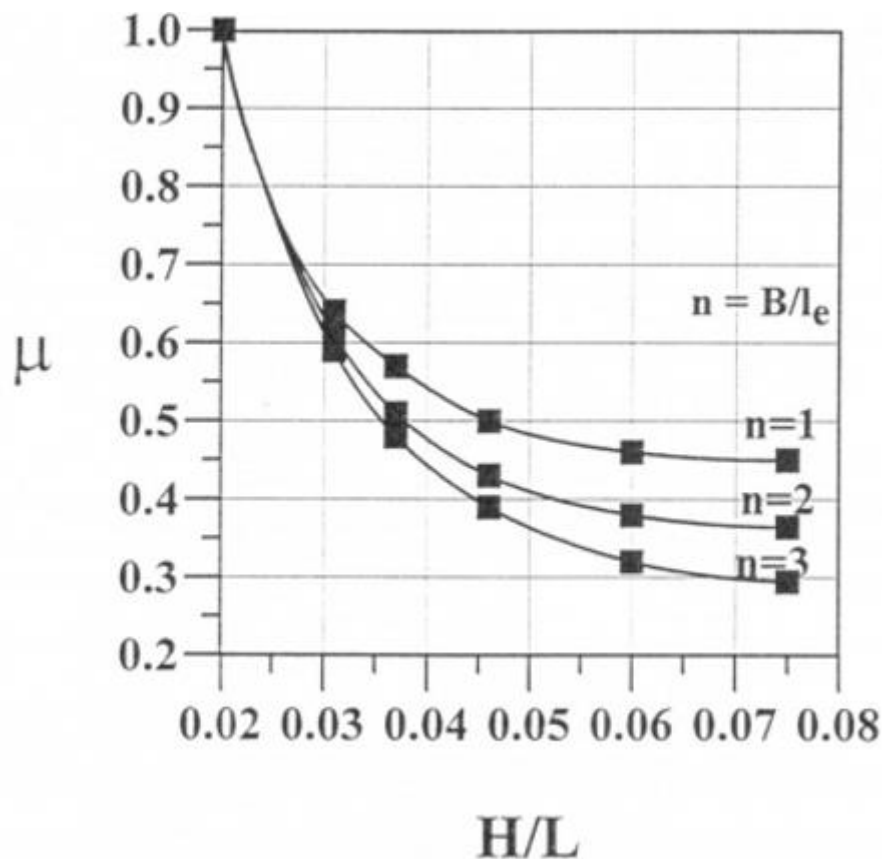


Figura 73: Relación H/L con μ .

En este estudio se tiene $H/L = 6.14/116.78 = 0.053$, el valor de μ asociado a ello es de 0.35.

Por tanto,

$$P_r = 0,35 * 9,81 * 1025 * (1,61 + 4 - 3,8) = 6370 \text{ Pa}$$

Y las fuerzas que actúan sobre la estructura son:

$$F_{h2} = 0,5 * P_r * \text{Altura espaldón} = 0,5 * 6370 * 3 = 9555 \text{ N}$$

$$F_{v2} = 0,5 * P_r * (\text{Esp} + \text{Losa}) = 0,5 * 6370 * 10 = 31850 \text{ N}$$

Se procede ahora a realizar la verificación a vuelco y a deslizamiento. Estos se realizan con las siguientes formulas:

Coefficiente de seguridad al deslizamiento

$$CSD = \frac{\mu * (\text{Peso} - \text{Subpresiones})}{F_{\text{horizontales}}}$$

Coefficiente de seguridad al vuelco:

$$CSV = \frac{M_{\text{peso}}}{M_h + M_v}$$

Estos coeficientes deben de ser mayores que 1.4.

A continuación, se procede a obtener cada uno de los valores de estos términos.

Las presiones dinámicas y las pseudohidrostáticas actúan en tiempos diferentes, por lo que no deben sumarse.

Hay que calcular independientemente los coeficientes de seguridad para las fuerzas dinámicas y para las pseudohidrostáticas. En caso de que el manto principal protege totalmente el espaldón, solo deberás considerar las fuerzas y momentos pseudohidrostáticos.

$$F_{h1} = 40164,09 \text{ N}$$

$$F_{v1} = 66925,15 \text{ N}$$

$$M_h = \frac{F_{h1}}{2} * \text{Alt. Esp} = \frac{40164,09}{2} * 3 = 60246,14 \text{ Nm}$$

$$M_v = F_{v1} * (\text{Espaldón} + \text{Losa}) * \frac{2}{3} = 66925,15 * \frac{2}{3} = 44616,77 \text{ Nm}$$

$$\text{Peso} = 2300 * 3 * 3 * 9.81 + 2300 * (10 - 3) * 0.5 = 203067 + 78970,5 = 282037,5 \text{ N}$$

$$M_{\text{peso}} = 203067 * \left(10 - \frac{3}{2}\right) + 78970,5 * \left(\frac{10 - 3}{2}\right) = 2002466,3 \text{ Nm}$$

Así,

$$CSD = \frac{\mu * (\text{Peso} - \text{Subpresiones})}{F_{\text{horizontales}}} = \frac{0,7 * (282037,5 - 66925,15)}{40164,09} = 3,74$$

$$CSV = \frac{M_{\text{peso}}}{M_h + M_v} = \frac{2002466,3}{60246,14 + 44616,77} = 19$$

Se procede a hacer lo mismo con las otras presiones:

$$F_{h2} = 9555 \text{ N}$$

$$F_{v2} = 31850 \text{ N}$$

$$M_h = \frac{F_h}{2} * \text{Alt. Esp} = \frac{9555}{3} * 3 = 9555 \text{ Nm}$$

$$M_v = 318500 * 10 * \frac{2}{3} = 212333,33 \text{ Nm}$$

$$\text{Peso} = 2300 * 3 * 3 * 9.81 + 2300 * (10 - 3) * 0.5 = 203067 + 78970,5 = 282037,5 \text{ N}$$

$$M_{\text{peso}} = 203067 * \left(10 - \frac{3}{2}\right) + 78970,5 * \left(\frac{10 - 3}{2}\right) = 200246,63 \text{ Nm}$$

Así,

$$CSD = \frac{\mu * (\text{Peso} - \text{Subpresiones})}{F_{\text{horizontales}}} = \frac{0,7 * (282037,5 - 31850)}{9555} = 2,08$$

$$CSV = \frac{M_{\text{peso}}}{M_h + M_v} = \frac{200246,63}{9555 + 212333,33} = 1,4$$

La situación es aceptable.

13.2. DIQUE VERTICAL: DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIONES

El dique en talud que se ha descrito previamente viene seguido por un dique vertical. Este sigue una orientación de SW-NE y el segundo con dirección S hasta las obras de abrigo.

Como se ha especificado previamente, los diques en talud requieren una profundidad más irregular y no muy elevada. En esta zona las profundidades varían entre 18.5 y 25 m y el fondo es más constante y sin gran pendiente. Las banquetas de escollera donde apoyan los diques verticales tienen un espesor de 2m, por lo que queda una profundidad de 16.5m.

En el apartado 12 ya se ha determinado la cota de coronación del dique vertical cuyo valor es de 7m, y la altura en la que se sitúa la explanada del cajón es de 4.2m (para hacer coincidir con la explanada del dique en talud y asegurar que el nivel de operaciones es continuo).

Así, sólo queda establecer la anchura de los cajones que forman el muelle vertical. Este se determina mediante la comprobación al deslizamiento y al vuelco de dicho cajón. El régimen empleado para este diseño es el régimen extremal. Las condiciones son las mismas que descritas previamente: altura de ola significativa de 2.95m, periodo de pico de 9.21 s, periodo medio de 6.58 s, duración de 6 horas, ángulo oleaje dique 0º (ya que esta condición es la más restrictiva).

Sin embargo, existe una segunda situación que se debe verificar también para estos cajones. A parte de la situación extremal cuya resolución se realiza mediante el método de Goda, se debe analizar la situación de régimen medio a un lado y el empuje del terreno del otro lado. Esto es

debido a que el dique vertical dispone de una plataforma al lado de este, que genera un empuje de tierras sobre la estructura.

En el primer caso de estudio de régimen extremal, la situación más desfavorable se halla a -25m de profundidad. El estudio se realiza a pleamar máxima ya que genera la peor situación. Como se ha determinado previamente, se considera que el cajón tiene una profundidad de 16.5m, por lo que, en la situación actual, la banqueta deberá de tener 8.5 m de profundidad. Estará compuesta por escollera de 100 a 300 kg. Además, se dispone de un manto protector de escollera de 1 m de grosor. En la figura 74 se muestra las presiones que afectan ala estructura empleando el método de Goda.

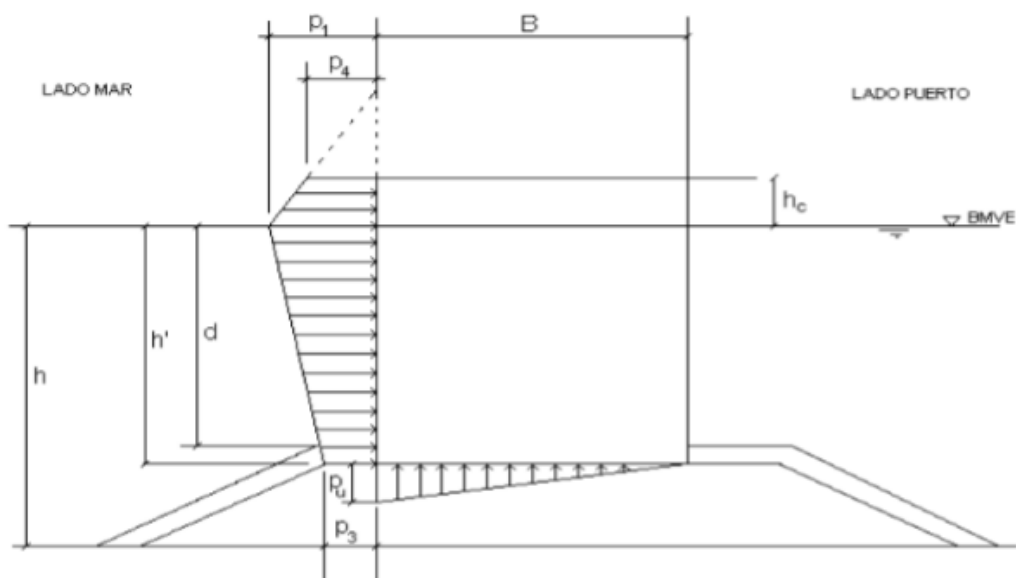


Figura 74: Método de Goda: presiones afectando a la estructura.

El método de Goda requiere de la altura de ola máxima del estado de mar, el cual tiene un valor de 6.14m.

Así se determinan los valores de α_1 , α_2 y α_3 .

$$n = 0.75 * (1 + \cos\beta) * H_{max} = 9,21 \text{ m}$$

$$L(h = 27,8\text{m}; T = 9,21\text{s}) = 118,97 \text{ m}$$

$$h_b = 28,3 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{4 * \pi * h}{L}}{\sinh \frac{4 * \pi * h}{L}} \right]^2 = \left[\frac{\frac{4 * \pi * 27,8}{118,97}}{\sinh \frac{4 * \pi * 27,8}{118,97}} \right]^2 = 0,6488$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{max}}{d} \right)^2; \frac{2d}{H_{max}} \right\} = \min \left\{ \frac{28,3 - 18,3}{3 * 28,3} \left(\frac{6,14}{18,3} \right)^2; \frac{2 * 18,3}{6,14} \right\} = 0,01326$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} * \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 * \pi * h}{L}\right)} \right] = 1 - \frac{19,3}{27,8} * \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2 * \pi * 27,8}{118,97}\right)} \right] = 0,609$$

Así se pueden obtener los valores de las presiones que actúan sobre la estructura.

$$P_1 = \frac{1}{2} * (1 + \cos\beta) * (\alpha_1 + \alpha_2 * (\cos\beta)^2) * \rho * g * H_{max} = 40875,08 \text{ Pa}$$

$$P_3 = \alpha_3 * P_1 = 24892,92 \text{ Pa}$$

$$P_4 = 22234,98 \text{ Pa}$$

$$P_u = \frac{1}{2} * (1 + \cos\beta) * \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \rho * g * H_{max} = 24394,35 \text{ Pa}$$

Por tanto las fuerzas horizontales (Fh), fuerzas de subpresión (s) y los momentos por unidad de anchura de las fuerzas horizontales y de las fuerzas de subpresión.

$$F_h = P_4 * 4,2 + \frac{1}{2} * (P_1 - P_4) * 4,2 + P_3 * 19,3 + \frac{1}{2} * (P_1 - P_3) * 19,3 = 737368,166 \text{ N}$$

$$S = \frac{1}{2} * B * P_u = (12197,17 * B) \text{ N}$$

$$M_h = P_4 * 4,2 * \left(19,3 + \frac{4,2}{2}\right) + \frac{1}{2} (P_1 - P_4) * 4,2 * \left(\frac{19,3}{2}\right) + P_3 * 19,3 * \left(19,3 + \frac{4,2}{3}\right) + \frac{1}{2} (P_1 - P_3) * 19,3 * \left(\frac{19,3}{2} * \frac{2}{3}\right) = 14305590,36 \text{ Nm}$$

$$M_h = (12197,17 * B) * \frac{2}{3} * B = 8131,44 * B^2 \text{ Nm}$$

Se considera 22.5 kN/m³ como peso específico para el hormigón y la cota de la estructura a +3m y una infraestructura formada por el cajón prefabricado relleno de material granular. Este valor de la densidad proviene de: una relación hormigón-relleno del 25%-75% (intervalo común en este tipo de estructuras), un peso específico del relleno de 19kN/m³, un peso específico del hormigón que conforma la estructura de 23 kN/m³, sin considerar la ferralla, y que las celdas son rellenas por material granular hasta la cota +3.0m.

Por tanto, el peso específico aparente del cajón emergido es de 20 kN/m³.

Con este valor se procede a calcular el peso y el momento estabilizante del cajón por unidad de anchura.

$$P = 22500 * B * (4,2 - 3) + 22500 * 3 * 1,4 + 22500 * 4,5 * 1,4 + B * 1 \\ * (22500 - 10250) + 0,2 * B * 20000 + (20000 - 10250) * B * 18,3 \\ = 236250 + 221675B \text{ N}$$

$$M_p = 22500 * B^2 * \frac{(4,2 - 3)}{2} + 22500 * 3 * 1,4 * (B - 1,5) + 22500 * 4,5 * 1,4 \\ * (B - 2,25) + \frac{B^2}{2} * 1 * (22500 - 10250) + 0,2 * B^2 * \frac{20000}{2} \\ + (20000 - 10250) * B^2 + 236250 * B - 460687,5 \text{ Nm}$$

Así los coeficientes que se obtienen a seguridad frente al vuelco y frente al deslizamiento son:

$$CSD = \frac{\mu * (Peso - Subpresiones)}{F_{horizontales}} = 1,4 = \frac{0,7 * (236250 + 221675 * B - 12197,17 * B)}{737368,166}$$

$$B = 5,91 \text{ m}$$

$$CSV = \frac{M_{peso} - M_{subpresiones}}{M_{fuerzas horizontales}} = 1,4 \\ = \frac{110837,5 * B^2 + 236250 * B - 460687,5 - 8131,44 * B^2}{14305590,36}$$

$$B = 13,02 \text{ m}$$

Se concluye que se necesita un cajón de mínimo 13.02 para resistir los esfuerzos producidos por el oleaje.

En el segundo caso de estudio, se consideran las fuerzas del terreno sobre la estructura y se calcula de nuevo el ancho con esta nueva situación de fuerzas.

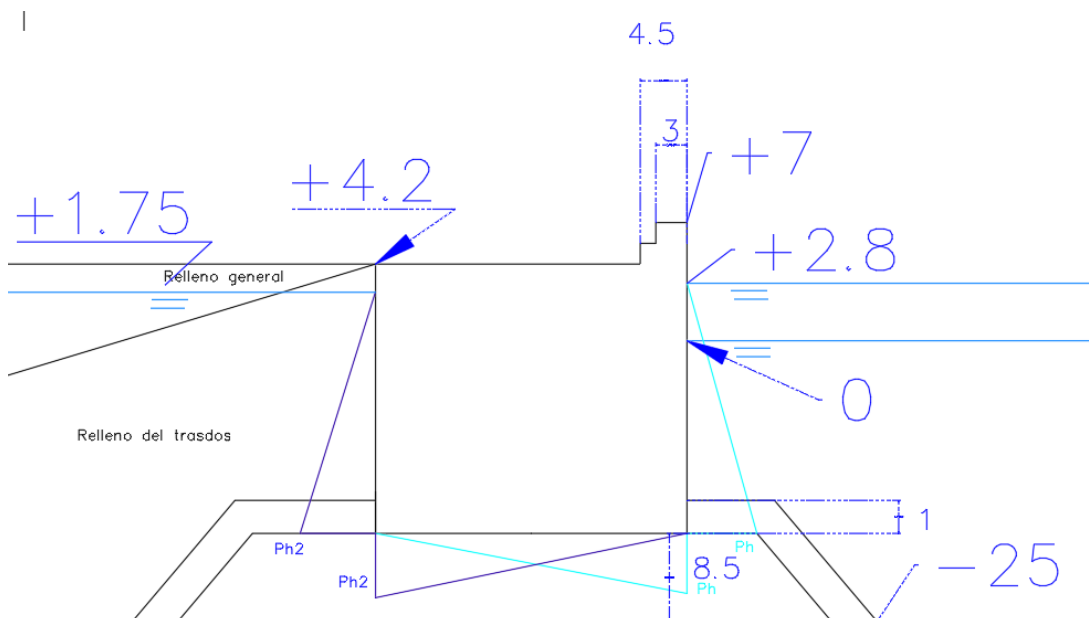
La situación pésima en este caso es la siguiente: a el seno de la ola máxima del temporal de cálculo por el lado del mar y el empuje de las tierras por el interior, y por tanto las únicas presiones que afectan son las hidrostáticas.

Goda facilita el empuje negativo bajo el seno.

Las características del terreno que forman el relleno de trasdós son las siguientes:

- Peso específico seco 0 1.8 T/m³
- Peso específico saturado =2.1 T/M³
- Peso específico sumergido =1.1T/m³
- Angulo de rozamiento interno = 37.5º
- cohesión =0T/m³
- ángulo de rozamiento con el trasdós del muro =12.5º

En la figura 75 se muestran las presiones hidrostáticas que se ejercen sobre el dique.


$$F_{subp.h2} = P_{h2} * \frac{1}{2} * B = 91754,15 \text{ N}$$

En la figura 76 se muestran los empujes del terreno sobre el dique vertical.

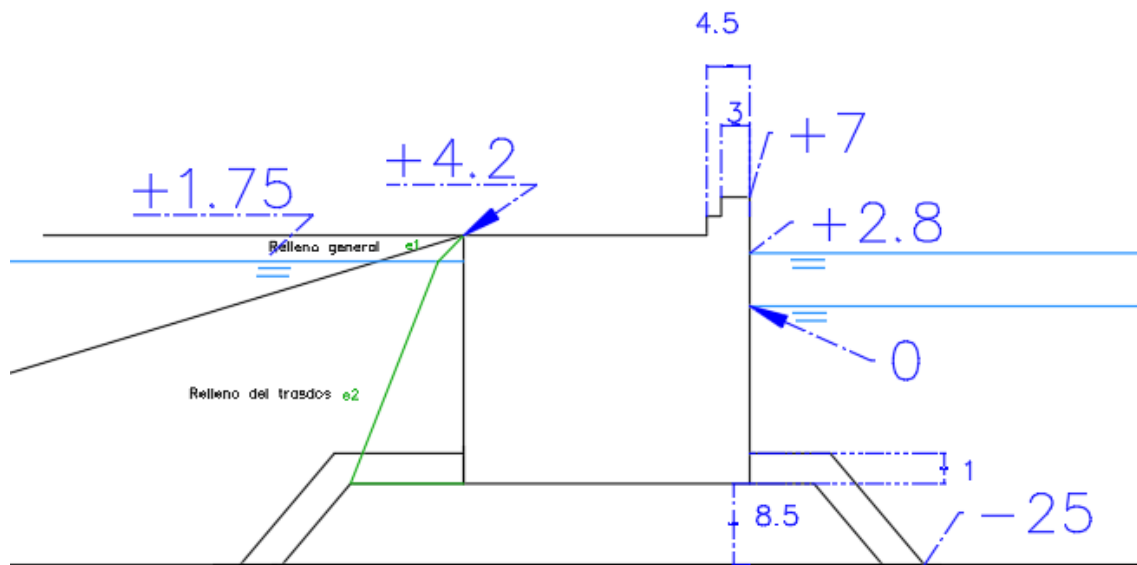


Figura 76: Las dos leyes del terreno por efecto del nivel freático.

En el análisis de los empujes en el trasdós de la estructura es necesario el plano de rotura del empuje activo, definido por su ángulo ξ , solo se considera en el caso de suelos no cohesivos. Por lo cual se considera en este tipo de cargas el coeficiente de empuje activo sin cohesión de este tipo de cargas.

TABLA 3.4.2.2. DETERMINACIÓN DE EMPUJES ACTIVOS. TEORÍA DE COULOMB	
I. CASO GENERAL: SUELO HOMOGÉNEO SIN NIVEL FREÁTICO	
<p><u>SOLUCIÓN ANALÍTICA</u></p> $p_a = K_a \cdot \sigma' - K_{ac} \quad (2)$ $p_{ah} = K_a \cdot \text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \sigma' - K_{ac} \cdot \text{sen}(\alpha - \delta)$ $p_{av} = K_a \cdot \cos(\alpha - \delta) \cdot \sigma' - K_{ac} \cdot \cos(\alpha - \delta) \quad (1)$ $K_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}^2 \alpha \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$ $K_{ac} = 2c\sqrt{K_a}$ $\sigma' = \gamma \cdot z \quad z > 0$ <p><u>Plano de rotura en suelos con $c = 0$</u></p> $\cot g(\zeta - \beta) = \cot g(\phi + \delta - \alpha - \beta) - \text{cosec}(\phi + \delta - \alpha - \beta)$ $\sqrt{\frac{\text{sen}(\alpha - \delta) \cdot \text{sen}(\phi + \delta)}{\text{sen}(\alpha + \beta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta)}}$	

Tabla 23: Formulación de Coulomb empleado en la presión de terrenos.

Los valores de los coeficientes de empuje activo son: $\alpha=90^\circ$, $\beta=0^\circ$ y $\delta=12.5$ y $\phi=37.5^\circ$.

$$K_a = \frac{\sin^2(90 + 37,5)}{\sin(90 - 12,5) \cdot \sin^2(90) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(37,5 + 12,5) \cdot \sin(37,5 - 0)}{\sin(90 - 12,5) \cdot \sin(90 + 0)}} \right]^2} = 0,222$$

Así se procede a determinar los valores de las leyes de presiones:

$$e_1 = K_a \cdot \gamma \cdot g \cdot z = 0,222 \cdot 1800 \cdot 9,81 \cdot 2,45 = 9594,4 \text{ Pa}$$

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot e_1 \cdot z = 9594,4 \cdot 0,5 \cdot 2,45 = 11753,14 \text{ N}$$

$$e_2 = e_1 + K_a \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot (16,5 + 1,75) = 53269,6 \text{ Pa}$$

$$E_2 = e_1 \cdot 18,25 + \frac{1}{2} \cdot (e_2 - e_1) \cdot 18,25 = 573634 \text{ N}$$

Y así los valores de los momentos son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 M_p &= 22500 * \frac{B^2}{2} * (4,2 - 3) + 22500 * 3 * 1,4 * 1,5 + 22500 * 4,5 * 1,4 * 2,25 + \frac{B^2}{2} * 1 \\
 &\quad * (22500 - 10250) + 0,2 * \frac{B^2}{2} * 20000 + (20000 - 10250) * \frac{B^2}{2} * 18,3 \\
 &= 110837,5 * B^2 + 460687,5
 \end{aligned}$$

El coeficiente de seguridad se determina con la siguiente relación:

$$CSV = \frac{M_{estabilizadores}}{M_{desestabilizadores}}$$

$$\begin{aligned}
 M_{estabilizador} &= M_{peso} + M_{Fh} = 110837,5 * B^2 + 460687,5 + \frac{1872740,04}{3} * 19,3 \\
 &= 110837,5 * B^2 + 12208648,42 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{desestabilizador} &= M_{Fh2} + M_{Fsubpresionh1} + M_{Fsubpresionh2} + M_{terreno} \\
 &= 1674513,35 * \frac{18,25}{3} + 97033,16 * \frac{B^2 * 2}{3} + 11753,14 \\
 &\quad * \left(18,25 + \frac{1}{3} * (4,2 - 1,75) \right) + 9594,4 * \frac{18,25^2}{2} + \frac{1}{2} * (53269 - 9495,4) \\
 &\quad * \frac{18,25^2}{3} = 10389451,84 + 76413,72 * B^2 \text{ Nm} \\
 &\quad * \left(\frac{1}{2} * 18 * (19,78 - 18,7) \right) * \frac{18}{3} + 1,2 * \left(18,25 + \frac{2,45}{3} \right) + e_1 * \frac{18,25^2}{2} + \frac{1}{2} * (e_2 - e_1) \\
 &\quad * \frac{18,25^2}{3} = 4559,7 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Una vez obtenidos estos valores, se resuelve y se obtiene la anchura mínima necesaria, despejando B:

$$1,4 = CSV = \frac{110837,5 * B^2 + 12208648,42}{10389451,84 + 76413,72 * B^2}$$

La anchura mínima necesaria es de 24,7m, es decir 25m. Esta sera la solucion adoptada.

13.3. BANQUETA DE APOYO

Tanimoto et al (1982) establece una metodología para la verificación de los elementos de escollera de la baqueta de cimentación. Esta es función de la función de estabilidad y en ensayos con trenes de olaje irregulares.

La peor situación para la estabilidad del material de cimentación es con grandes peraltes y pequeños calados.

En sus estudios, Tanimoto obtuvo el campo de velocidades de una onda estacionaria frente al dique suponiendo un calado constante e igual a h. En el punto antinodo (junto al dique) las velocidades horizontales son mínimas y en el caso de Bm = 0m, la función de estabilidad es un

mínimo relativo. En el punto del Nudo ($B_m = L/4m$) la función de estabilidad tiene un máximo. Se nota que L es la longitud de onda en una profundidad h .

La figura 77 muestra el estudio de Tanimoto.

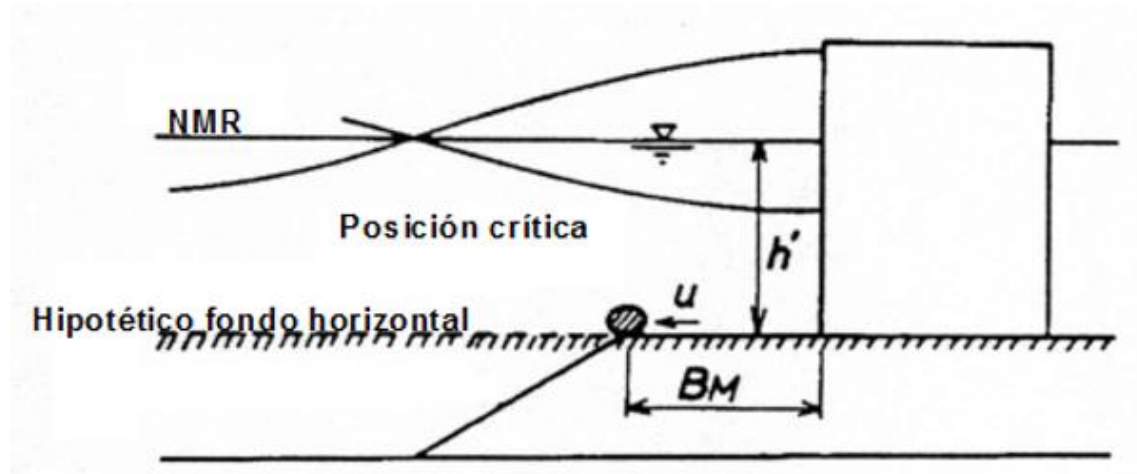


Figura 77: Estudio de Tanimoto.

Según los estudios de Tanimoto se supone $H_{max}=2*H_1/3$.

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_1^3 * \psi$$

Con

- γ_w : peso específico del agua de mar.
- Sr : γ_s/γ_w
- γ_s : peso específico de la escollera.
- ψ función de estabilidad.
- H_i : altura de ola de cálculo incidente

La función de estabilidad ψ para este caso se determina de la siguiente manera:

$$\psi = \min \left\{ 0.03, \left[4.2 \frac{1-c}{c^{\frac{1}{3}}} \frac{h'}{H_i} + 3.24 * e^{\left(-2.7 * \frac{(1-c)^2}{c^{\frac{1}{3}}} \frac{h'}{H_i} \right)} \right]^{-3} \right\}$$

$$c = \frac{\frac{4\pi h'}{L'}}{\sin\left(\frac{4\pi h'}{L'}\right)} \sin^2\left(\frac{2\pi B_m}{L'}\right)$$

Como se ha descrito previamente las peores condiciones para la cimentación vienen dadas por estos valores:

- $H_s = 2,95$ m.
- Altura de ola de cálculo (H_i): 6,14 m
- Profundidad de cálculo (h'): 18 - 8,5 = 9,5m
- Periodo de cálculo: 9,21 seg.
- L' ($h' = 9,5$ m, $T = 9,21$ s) = 82,15m

- $B_m = 5 \text{ m}$

Así se obtiene:

- $C = 3.2 \cdot 10^{-5}$
- $\psi = 1.166 \cdot 10^{-7}$
- $W = 7.19 \text{ N}$

De esto se concluye que no es necesario disponer escollera de protección.

El dique vertical se dispone en un primer tramo con dirección NE-SO y un segundo tramo con dirección S. Debido a la diferenciación entre ambos se establece una solución diferente para cada uno.

Se nota que para resistir el oleaje los cajones necesitan mínimo 13m de ancho.

- El dique con dirección NE-SO con una anchura de 60 m parece excesivo por lo que se dispone un muelle con cajones disipativos y un dique vertical de cajones de 25m de ancho.
- El tramo con dirección S tiene 20m de ancho, lo que parece adecuado. Por lo que se pueden disponer cajones con esa anchura. Comparando con la anchura mínima necesaria parece que se disponen de 7 m de ancho más. En esta zona se podrían colocar las cámaras que permiten disipar el oleaje en el interior del puerto.

13.4. CONTRADIQUE

El contradique del puerto es un dique en talud.

Para un periodo de retorno de 475 años, la altura de ola asociada es de 0.67m. De nuevo como se ha mencionado previamente en el apartado de contradique la altura de ola y el periodo de pico siguen una función cúbica que las relaciona.

El periodo de pico se calcula de la misma manera que anteriormente. Este tiene un valor de 5 segundos y el periodo medio 3.57 segundos.

El peso de las piezas del manto se determina de nuevo con la formulación de Losada y Gimenez-Curto (1979):

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_{50}^3 * \psi$$

Donde:

- γ_w : peso específico del agua de mar.
- Sr : γ_s / γ_w
- γ_s : peso específico de la escollera.
- ψ función de estabilidad.
- H_i : altura de ola de cálculo incidente.

Para el valor de H_{50} del temporal de cálculo:

- Altura de ola significativa 0,67m
- Periodo de pico 5 seg.

- Periodo medio 3,6 seg.
- Duración 6 h

Por lo que el número de olas es:

$$N = \frac{\text{duración} * 3600}{T_m} = \frac{6 * 3600}{3,6} = 6545,45 \text{ olas}$$

$$H_{50} = H_{\frac{50}{N}} = H_{\frac{50}{6545,45}} = H_{\frac{1}{130}}$$

Se entra de nuevo en la tabla de distribuciones de Rayleigh en la tabla 24:

N	$H_{1/N} / H_{rms}$	$H_{1/N} / \bar{H}$	$H_{1/N} / \eta_{rms}$	$H_{1/N} / H_{qn}$
500	2.680	3.023	7.580	1.075
200	2.503	2.823	7.078	1.087
100	2.359	2.662	6.671	1.099
50	2.206	2.488	6.239	1.115
40	2.157	2.435	6.099	1.123
30	2.085	2.353	5.895	1.131
25	2.042	2.303	5.775	1.138
20	1.984	2.239	5.609	1.146
10	1.800	2.030	5.090	1.186
5	1.591	1.795	4.499	1.254
3	1.416	1.597	4.004	1.351
1	0.886	1.000	2.505	—

Tabla 24: Distribuciones del oleaje de Rayleigh.

$$H_{\frac{1}{65}} = 2,4 * H_{rms} = 2,4 * \left(\frac{H_s}{1,416} \right) = 1,14 \text{ m}$$

El manto está de nuevo formado por bloques a*a*a, por lo que la función de estabilidad es de nuevo 0.06.

Se procede a calcular el peso de las piezas de hormigón del manto principal:

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_{50}^3 * \varphi = 10250 * \frac{\left(\frac{23000}{10250} \right)}{\left(\left(\frac{23000}{10250} \right) - 1 \right)^3} * 1,14^3 * 0,06 = 1062,0N$$

$$W = 106,2 \text{ kg}$$

Este valor se encuentra en el intervalo de la escollera por lo que se procede a calcular el peso de la escollera necesaria:

$$W = \gamma_w * \frac{Sr}{(Sr - 1)^3} * H_{50}^3 * \psi = 10250 * \frac{\left(\frac{26000}{10250}\right)}{\left(\left(\frac{26000}{10250}\right) - 1\right)^3} * 1,14^3 * 0,06 = 637,04N$$

$$W \approx 65 \text{ kg}$$

La zona de estudio está en un área abrigada y las alturas de oleaje incidentes son muy pequeños, por lo que parece lógico el resultado que se obtiene: Este bloque se encuentra directamente en el rango de pesos del núcleo.

A pesar de estos valores, se establecerá un manto de dos piezas de escollera de grosor de entre 100 y 400 kg. EL valor adoptado es un valor medio de 250 kg.

El espesor del manto principal es:

$$a = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho}} = \sqrt[3]{\frac{0,25 \text{ Tn}}{2,6 \text{ Tn/m}^3}} = 0,45 \text{ m}$$

Considerando dos bloques en la capa, el espesor de la capa es de 0.9m.

14. DISEÑO DE LAS OBRAS INTERIORES

Las obras de atraque se sitúan en los muelles interiores del puerto. El objetivo de estos elementos no es el abrigo del oleaje exterior. Estos son diques verticales son de hormigón armado. Se propone que las primeras filas las celdas sean abiertas para favorecer la disipación del oleaje en las dársenas interiores.

Las características de los materiales empleados en esta zona son los que se muestran en esta tabla 25:

Hormigón	Peso específico	2.5 T/m ³
Terreno de relleno del trasdós	Peso específico seco	1.8 T/M ³
	Peso específico saturado	2.1 T/M ³
	Peso específico sumergido	1.1 T/M ³
	Angulo de rozamiento interno	37.5º
	cohesión	0 T/m ²
	Angulo de rozamiento con el trasdós del muro	12.5º
Relleno general de la explanada	Peso específico seco	1.8 T/M ³
	Peso específico saturado	2.1 T/M ³
	Peso específico sumergido	1.1 T/M ³
	Angulo de rozamiento interno	37.5º
Terreno de la banqueta de cimentación	Peso específico seco	1.8 T/M ³
	Peso específico sumergido	1.1 T/M ³
	Angulo de rozamiento interno	42º
	Cohesión	0 T/m ²

Tabla 25:Características de los materiales.

Las dimensiones del cajón son: eslora 35.6m, manga 18m, Puntal 18.7m +2m de superestructura encima.

Se muestra en la figura 78 la planta de los cajones disipativos a utilizar en los muelles. La primera fila de celdas permite la entrada de agua y así disipa gran parte del oleaje como se muestra en la imagen 78.

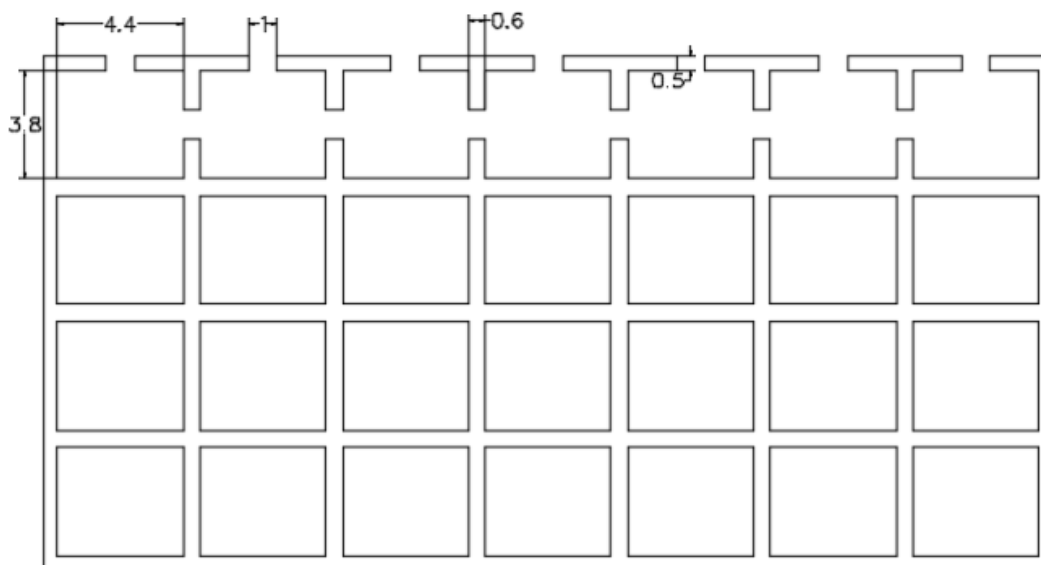


Figura 78: Gráfica altura de ola y periodo de pico a pie de dique

Las dimensiones de las celdas son 3.8*4.4m. Se diferencian dos áreas: el área de hormigón que equivale a 165 m² y 476 m².

De nuevo se sigue el procedimiento de las presiones hidrostáticas. De nuevo, se considera que en el lado de tierra el nivel del agua estará a 0.3m por encima del nivel medio del mar como se define en la ROM 0.2-90 en el capítulo 3.4.2. EL nivel del agua está en consecuencia a +1.75m, como se muestra en la figura 79.

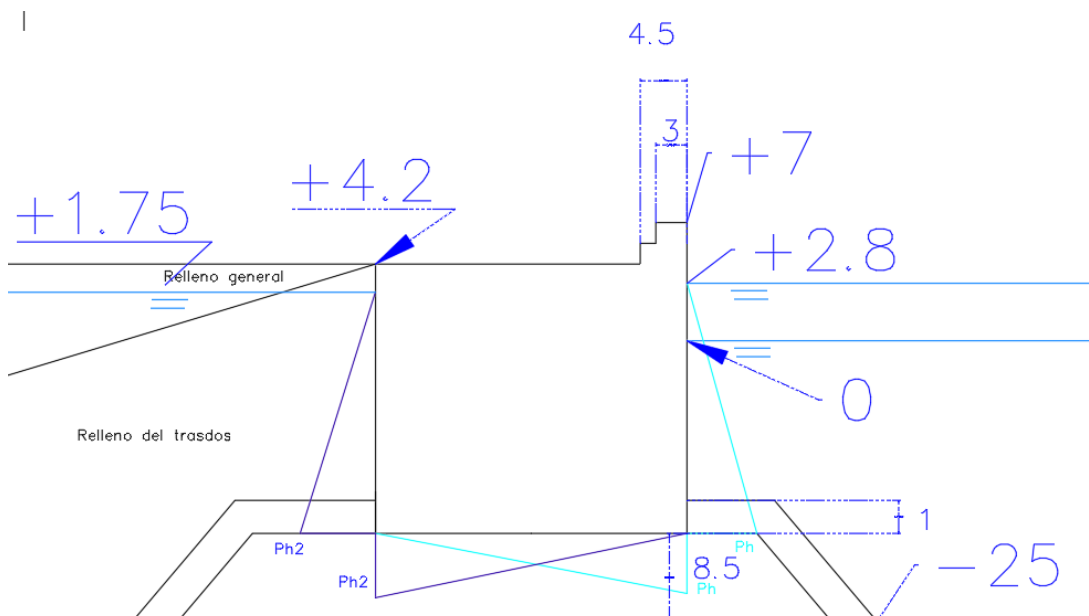


Figura 79: Esquema de distribución de las presiones hidrostáticas.

$$P_h = \rho g h = 1.025 * (16,5 + 2,8) = 19,8 \text{ T/m}$$

$$P_{h2} = \rho g h_2 = 1.025 * (16,5 + 1,75) = 18,7 \text{ T/m}$$

$$F_h = P_h * \frac{1}{2} * h = 19,78 * 0,5 * (16,5 + 2,8) = 190,9 T$$

$$F_{h2} = P_{h2} * \frac{1}{2} * h2 = 18,7 * 0,5 * (16,5 + 1,75) = 171 T$$

$$Subpresión = \left(18,7 * 18 + \left(\frac{1}{2} * 18 * (19,8 - 18,7) \right) \right) = 346,3T$$

El empuje del terreno se calcula según el método de Coulomb en la tabla 3.4.2.2.2 de la ROM 0.2-90.

De nuevo debido al nivel freático las leyes de presiones se dividen de nuevo en dos tramos como se muestra en la imagen 80.

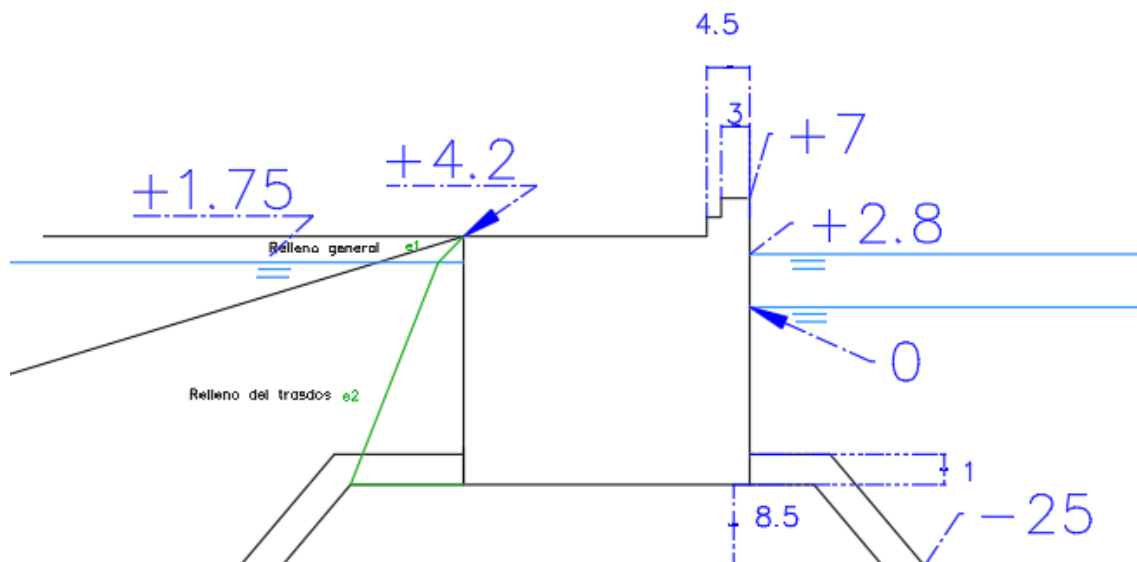


Figura 80: Leyes de presiones del terreno.

El empuje de los terrenos es el siguiente viene de la siguiente tabla:

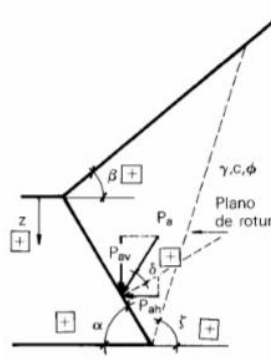
TABLA 3.4.2.2.2. DETERMINACIÓN DE EMPUJES ACTIVOS. TEORÍA DE COULOMB	
I. CASO GENERAL: SUELO HOMOGÉNEO SIN NIVEL FREÁTICO	
<p><u>SOLUCIÓN ANALÍTICA</u></p> $p_a = K_a \cdot \sigma' - K_{ac} \quad (2)$ $p_{ah} = K_a \cdot \sin(\alpha - \delta) \cdot \sigma' - K_{ac} \cdot \sin(\alpha - \delta)$ $p_{av} = K_a \cdot \cos(\alpha - \delta) \cdot \sigma' - K_{ac} \cdot \cos(\alpha - \delta) \quad (1)$ $K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)} \right]^2}$ $K_{ac} = 2c\sqrt{K_a}$ $\sigma' = \gamma \cdot z \quad z > 0$ <p><u>Plano de rotura en suelos con $c = 0$</u></p> $\cot g(\zeta - \beta) = \cot g(\phi + \delta - \alpha - \beta) - \operatorname{cosec}(\phi + \delta - \alpha - \beta)$ $\frac{\sin(\alpha - \delta) \sin(\phi + \delta)}{\sin(\alpha + \beta) \sin(\phi - \beta)}$	

Tabla 26: Determinación de los empujes activos. Teoría de Coulomb.

El coeficiente de empuje activo con los valores son $\alpha=90^\circ$, $\beta=0^\circ$ y $\delta=12.5^\circ$ y $\phi=37.5^\circ$:

$$K_a = \frac{\sin^2(90 + 37,5)}{\sin(90 - 12,5) * \sin^2(90) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(37,5 + 12,5) + \sin(37,5 - 0)}{\sin(90 - 12,5) * \sin(90 + 0)}} \right]^2} = 0,222$$

Los empujes son, por lo tanto:

$$e_1 = K_a * \gamma * g * z = 0,222 * 1,8 * 2,45 = 0,98 \text{ T/m}$$

$$e_2 = e_1 + K_a * 1,1 * (16,5 + 1,75) = 5,44 \text{ T/m}$$

$$E_1 = \frac{1}{2} * e_1 * z = 0,98 * 0,5 * 2,45 = 1,2 \text{ T}$$

$$E_2 = e_1 * 18,25 + \frac{1}{2} * (e_2 - e_1) * 18,25 = 56,76 \text{ T}$$

Se deben de considerar también las sobrecargas nominales establecidas por la ROM, como se muestra a continuación.

Valores nominales mínimos de las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento en obras de atraque y amarre (continuación)

EN LA FASE DE SERVICIO								
USOS				SISTEMAS DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS	Área operación ¹⁾		Área almacenamiento ¹⁾	
					$q_{0,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ²⁾ (m)	$q_{0,1rk}$ (kN/m ²)	H_a ²⁾ (m)
COMERCIAL	Graneles sólidos	Ordinarios o pulverulentos		Sistemas continuos	10	1,5	100	8,0
				Sistemas discontinuos	30	2,5		
		Pesados		Sistemas continuos	10	1,5	200	12,0
				Sistemas discontinuos	50	2,5		
	Mercancía general	Carga convencional	Ordinaria	Sistemas discontinuos por elevación	30	2,5	60	5,5
			Pesada		60	1,5	100	4,0
		Contenedores		Sistemas discontinuos por elevación	20	2,5 ⁴⁾	60	10 ⁷⁾
		Ro-Ro y Ferris		Medios rodantes	30	2,5	50	4,0
				Medios rodantes + elevación				
		Multipropósito		Medios rodantes + elevación	30	2,5	100	8,0
		Pasajeros	Ferris		Medios rodantes	10	1,5	50
	Medios rodantes + elevación				20	2,5		
	Cruceiros y otras				10	1,5	20	2,5
PESQUERO					15	2,0	15	2,0
NAÚTICO-DEPORTIVO	No accesibles al tráfico rodado				5	0,8	—	—
	Accesibles al tráfico rodado				10	1,5	15	2,0
INDUSTRIAL					100 ⁸⁾	2,5	100 ⁸⁾	2,5
MILITAR					50	4,0	50	4,0

Tabla 27: Tabla de la ROM que muestra los valores mínimos de sobrecarga de almacenamiento.

Según esta tabla, la manga del muelle es de 18m, la zona de operaciones tiene una sobrecarga de 3t/m, es decir 54 toneladas están sobre 9 m extremos del muelle.

El peso propio de la estructura y de la superestructura es de:

$$\text{Peso propio estructura} = \frac{18,7 * 165,54 * 2,5 + 4,4 * 3,8 * 21 * 1,8 * 18,7}{35,6} = 549,37 T$$

$$\text{Peso superestructura} = 18 * 2 * 2,5 = 90 T$$

El coeficiente de seguridad al vuelco se define como los momentos estabilizadores frente a los desestabilizadores:

$$CSV = \frac{M_{\text{estabilizadores}}}{M_{\text{desestabilizadores}}}$$

Con

$$M_{\text{estabilizador}} = M_{\text{peso}} + M_{Fh} + M_{\text{sup}} + M_{\text{sobre}}$$

$$M_{\text{desestabilizador}} = M_{Fh2} + M_{\text{subpresion}} + M_{\text{terreno}}$$

Y así,

$$M_{estabilizador} = M_{peso} + M_{Fh} + M_{sup} + M_{sobre}$$

$$= 549,37 * 9 + 90 * 9 + 190,87 * \frac{19,3}{3} + 54 * 9 = 7469 \text{ Tm}$$

$$M_{desestabilizador} = M_{Fh2} + M_{subpresion} + M_{terreno}$$

$$= 170,69 * \frac{18,25}{3} + 18,7 * 18 * 9 + \left(\frac{1}{2} * 18 * (19,78 - 18,7) \right) * \frac{18}{3} + 1,2$$

$$* \left(18,25 + \frac{2,45}{3} \right) + e_1 * \frac{18,25^2}{2} + \frac{1}{2} * (e_2 - e_1) * \frac{18,25^2}{3} = 4559,74 \text{ Tm}$$

Por lo que,

$$CSV = \frac{7469}{4559,74} = 1,64$$

El coeficiente al deslizamiento se define como:

$$CSD = \frac{\mu * F_{vert}}{F_{hor}}$$

$$F_{vert} = Peso + Super - Subpre + Sobre = 549,37 + 90 - 346,42 + 54 = 346,95 \text{ N}$$

$$F_{hor} = F_{h2} - F_h + E1 + E2 = 170,69 - 190,87 + 1,2 + 56,76 = 37,78 \text{ N}$$

Considerando un valor del rozamiento de 0.7:

$$CSD = \frac{\mu * F_{vert}}{F_{hor}} = \frac{0,7 * 346,95}{37,78} = 6,43$$

Los coeficientes de deslizamiento y de rozamiento se cumplen, por lo que la geometría propuesta es válida.

Se hace notar que el coeficiente de seguridad al vuelco es muy próximo a 1.

15.CONCLUSIONES

Este proyecto analiza las necesidades actuales y los requisitos exigidos, la estimación futura de tráfico, así como los condicionantes locales para elaborar el proyecto de: "Proyecto del Nuevo Puerto del Rosario, Fuerteventura".

Tras un estudio de las características de la isla y de sus necesidades, se han establecido varias opciones que satisfacían en mayor o menor medida los requerimientos. Se ha decantado por una de las alternativas propuestas en base a los diferentes criterios necesarios (Alternativa A) gracias un estudio multicriterio.

Una vez determinada la alternativa, se han diseñado las obras de abrigo y de amarre para que cumplan los criterios de funcionalidad dados por la ROM.

Gracias a este trabajo se comprende la relevancia de la funcionalidad en un puerto. En el caso de rebase del dique, este provocaría desde averías en las superestructuras o estructuras de coronación y zona interior del dique, probación de transmisiones de oleaje indeseadas, daño económico por afección de la operatividad de las instalaciones abrigadas, daño por sobrecarga, inundación, arrastre de edificios, vehículos, embarcaciones y demás equipos o instalaciones abrigadas, o incluso daño físico a personas.

Así, el trabajo se divide en dos secciones: primera una con el análisis hidrodinámico con el análisis de los regímenes, su propagación y el análisis de los regímenes en el puerto, y una segunda una vez obtenidos los valores del oleaje a pie de dique y en el interior del puerto, se procede a dimensionar las obras de abrigo y las obras de amarre.

Entonces se puede calcular las dimensiones de las obras de abrigo. Para ello, en un primer tiempo se ha estudiado la cota de coronación del dique vertical y del dique en talud. Seguidamente con el fin de obtener la anchura mínima necesaria en los cajones del dique vertical, se emplean los coeficientes de seguridad para vuelco y deslizamiento.

Por su parte el dimensionamiento de la cota de coronación se realizó de dos maneras: una primera obteniendo un caudal de rebase para cada altura y comparándolo con el valor límite. Otra, analizando la agitación interior en las áreas de atraque y la operatividad.

Así, Esta alternativa tiene las siguientes dimensiones:

El dique en talud requiere de 6.8 m, se compone de un manto principal de 8 m y un manto secundario con piezas de escollera de 900kg. Por su parte el espadón tiene 3m de ancho.

Los diques verticales serán de diferente anchura en función de su localización. Con una altura de al menos 7m, tendrán 13 m de ancho cuando haya mar de los dos lados, mientras que, si de un lado hay mar y de otro hay relleno, el dique necesitará 25m.

Los cajones de hormigón serán de 18x36.5m.

Se concluye que la alternativa escogida es adecuada y los dimensionamientos adecuados.

ANEJO 1-EXPLICACION MATEMATICA DEL MODELO

El modelo numérico MSP es el que se emplea para la propagación del oleaje hasta aguas someras. Se emplea este ya que permite definir la reflexión en los contornos. Este interesa en particular en los muelles de atraque, diques y contradiques del puerto. Además, permite definir incluirlos efectos del oleaje como son la difracción, refracción, asomeramiento, rotura y disipación por fondo. Este modelo permite estudiar en el interior del puerto el efecto de la reflexión múltiple de un tren de olas. Este considera además la difracción producida por los distintos muelles, espigones y diques. Existen varios modelos dentro del MSP, pero para este caso se ha empleado el monocromático. Aquí se diferencian dos tipos de análisis: la resolución por elementos finitos con la "mid-slope equation", y la resolución por diferencias finitas de la aproximación parabólica de la "mild-slope equation".

Se establece una hipótesis: el flujo es irrotacional. Esto permite estudiar el fenómeno de propagación del oleaje con una función potencial. También se hace notar que se debe considerar la pendiente del fondo suave. Así el estudio se describe con una ecuación bidimensional entre el fondo y la superficie libre, llamada la ecuación de refracción-difracción o "mild-slope equation".

Se menciona que existe un modelo parabólico de refracción-difracción más sencillo, que podría también analizar, sin tanto detalle, el oleaje en el interior del puerto.

$$\Delta(\Gamma C C_g V \phi) + \frac{w^2 C}{C_g} \phi = 0$$

Dónde:

- Δ es el Operador gradiente
- Γ se define como el Factor de fricción
- C es la Celeridad
- C_g es la Celeridad de grupo
- ϕ corresponde al Potencial de velocidad
- k es el Número de onda ($w^2 = g * k * \tanh(k * h)$)
- g es la Gravedad

Se recuerda que se trata de una ecuación de tipo elíptica, por lo tanto, se requiere la resolución de ciertas condiciones de contorno como son: a) reflexión total o parcial en contornos fijos, b) onda incidente conocida o condición de radiación en contornos abiertos.

Sin embargo, este trabajo no dispone de una gran computadora capaz de realizar todos los cálculos necesarios se han tenido que simplificar, empleando así la aproximación parabólica mencionada previamente.

La resolución de la "mild-slope equation" por elementos finitos frente a la resolución de la aproximación parabólica por diferencias finitas es mucho más exacta y proporciona mejores

resultados. Sin embargo, requiere de mayores necesidades computacionales, tanto de cálculo como de memoria.

En este caso, el efecto de la difracción (curvatura de la amplitud de onda) en la dirección de propagación es nulo y la difracción sólo ocurre a lo largo de un frente de onda (líneas de igual fase). De este modo, el sistema puede expresarse por:

En el sentido de propagación del oleaje, el efecto de la difracción es nulo, y esta solo tiene lugar en un frente de olas (líneas de igual fase). La expresión empleada es la siguiente:

$$\frac{\delta \phi}{\delta x} = ik - \frac{1}{2kCC_g} \frac{\delta}{\delta x} (kCC_g) \phi + \frac{i}{2kCC_g} \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{CC_g \delta \phi}{\delta y} \right)$$

Con:

I la Unidad imaginaria ($i^2 = -1$)

Y x la Dirección predominante de propagación

Se define la dirección x como el “tiempo”, así se estudia la situación como un problema con los siguientes condiciones de contorno:

- 1) en $x = 0$, se ha de establecer la función potencial en función de la coordenada
- 2) en la dirección y el modelo debe tener dos contornos con condiciones apropiadas (reflexión o absorción).

Debe hacerse notar que en este modelo no existe la posibilidad de que las ondas viajen en el sentido negativo de la dirección x y, por tanto, la reflexión debida a estructuras no puede ser analizada. La resolución del sistema anterior puede realizarse por medio de métodos de diferencias finitas.

Como se ha expuesto anteriormente, la resolución por “mild slope” ofrece mejores resultados por lo que la propagación del oleaje en el interior de la dársena se realizará con este método. Además, el método parabólico no permite el estudio de las reflexiones interiores.

El efecto refracción-difracción se ha resuelto por una ecuación empleando una metodología mixta de elementos finitos (Berendt, 1985). Este permite la resolución de la ecuación de Helmholtz con fondo variable.

Para ello, se debe diferenciar la zona de estudio en dos regiones:

- Región cercana A: en esta región se empleará un método convencional de elementos finitos.
- Región lejana R: se utilizará una solución analítica con coeficientes desconocidos.

Tanto en las regiones cercanas y lejanas, para este problema de contorno el principio variacional exige que el funcional sea estacionario en relación con cualquier variación de primer orden de los potenciales Φ y Φ_R . Esto se define como:

$$n(\phi, \phi_R) = \iint_A \frac{1}{2} \left[\Gamma C C_{subg} (\Delta \phi)^2 - \frac{w^2 C_g}{C} \phi \right] dA - \int_{\partial} B \frac{1}{2} a \Gamma C C_g \phi^2 dL$$

$$+ \int_{\partial} A \Gamma C C_g \left[\frac{1}{2} (\phi_R - \phi) - (\phi - \phi_0) \right] \frac{\partial \phi_R}{\partial n_A} dL - \int_{\partial} A \Gamma C C_g [(\phi_R - \phi_0)] \frac{\partial \phi_R}{\partial n_A} dL$$

Donde

- $\Phi_0(x)$ se define como el potencial de la onda incidente,
- n_1 es un vector normal exterior a la región A
- Γ aporta el coeficiente de fricción por fondo
- A es el coeficiente de absorción de los contornos sólidos (estructuras).

Se considera que se propaga desde el infinito, donde la profundidad se considera como constante debido a su gran valor y el ángulo θ_0 con el eje x. Se propaga una onda incidente de amplitud a_0 . El potencial incidente de esta onda se puede definir con la siguiente ecuación:

$$\phi_0 = -\frac{ig * a_0}{w} e^{ikrcos(\theta - \theta_0)} = -\frac{ig * a_0}{w} \sum_{n=0}^N \varepsilon_n i^n J_n(kr) (\cos n \theta_0 \cos n \theta + \sin n \theta_0 \sin n \theta)$$

Con $\varepsilon_0 = 1$ y $\varepsilon_n = 2$ para $n > 0$.

Se hace notar que dicho potencial incidente está dividido en términos de funciones de Bessel de primera especie.

Se establece que en el caso de océano semi-infinito, Φ_0 es la suma del potencial incidente y del reflejado:

$$\phi_0 = -\frac{ig * a_0}{w} e^{ikrcos(\theta - \theta_0)} + k r e^{ikrcos(\theta - \theta_0)}$$

$$= -\frac{ig * a_0}{w} \sum_{n=0}^N \varepsilon_n i^n J_n(kr) (\cos n \theta_0 \cos n \theta + \sin n \theta_0 \sin n \theta) + (1 - kr) \sin n \theta_0 \sin n \theta$$

En la región R, se puede establecer una ecuación analítica ya que se asume fondo constante.

En cuanto a la región A se compone de subelementos triangulares. Se recuerda que en dicha región el fondo es distante por lo que la fricción del fondo no tiene gran relevancia por lo que no se considera su efecto. Esta asunción permite obviar los argumentos complejos de las funciones de Hankel. Además, la ecuación de la onda incidente queda de la siguiente manera:

$$\phi_S = \phi_R - \phi_0 = -\frac{ig * a_0}{w} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{H_n(kr)}{H_n(kr_a)} (u_n \cos n \theta + \beta_n \sin n \theta)$$

Con:

- un y Bn constantes que no se conocen
- H se define como la ecuación de Henkel previamente citada de primera especie
- ra es el radio de la región A

Suponiendo una reflexión perfecta en la región lejana semi-infinita y con una costa recta, la ecuación se puede definir de la siguiente forma:

$$\phi_S = \phi_R - \phi_0 = -\frac{ig * a_o}{w} \sum_{n=0}^{\infty} u_n \cos n\theta \frac{H_n(kr)}{H_n(kr_a)}$$

Basándose en la explicación anterior, se puede entonces establecer que para la zona exterior se puede emplear esta ecuación. Mientras que en la región interior existe el problema de la propagación interior, que se resuelve con ecuaciones lineales.

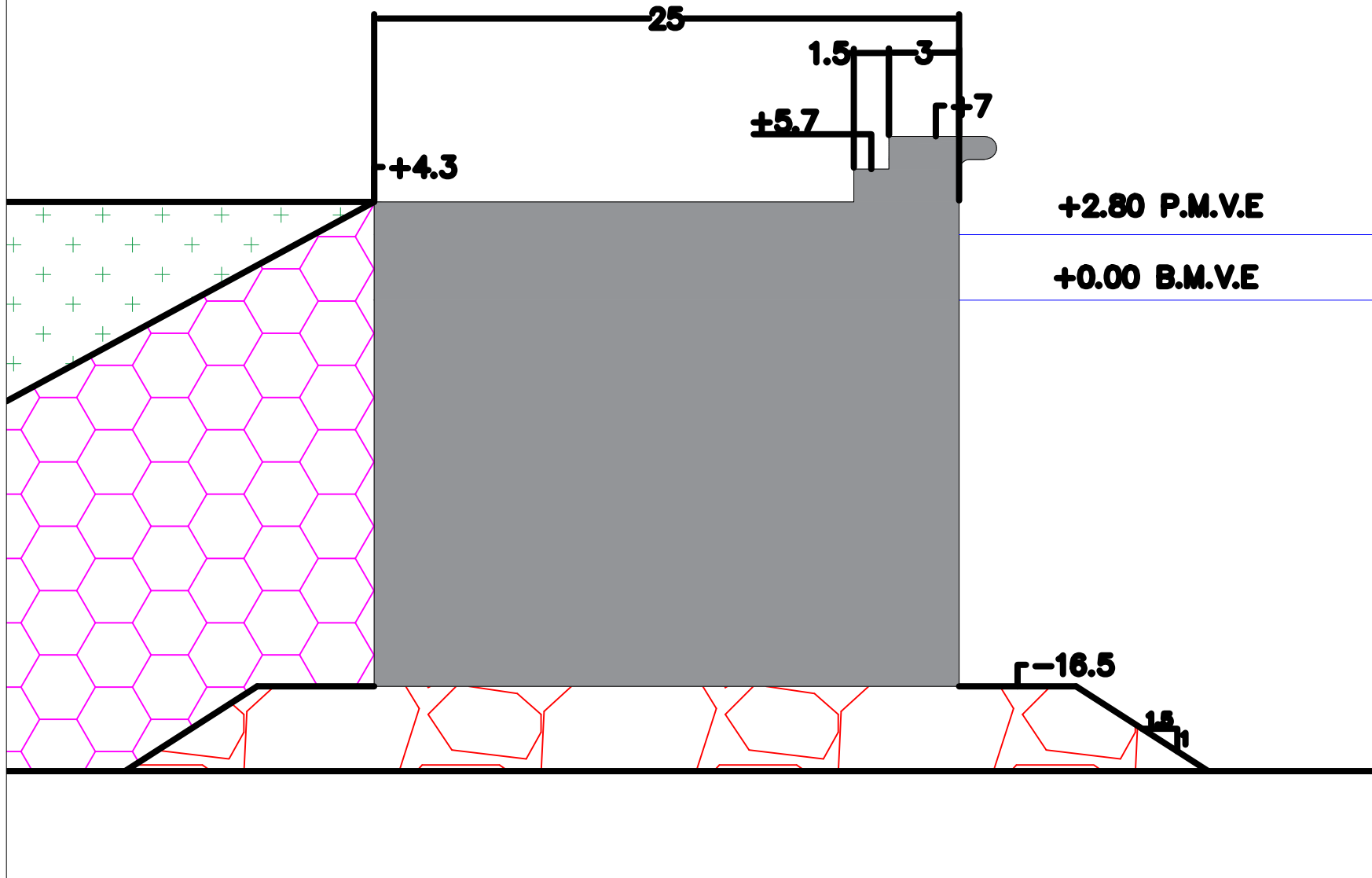
Por lo tanto, este modelo incluye los siguientes efectos:

- Refracción Difracción
- fricción por fondo (no se disponen de datos suficientes para determinar el coeficiente de fricción por fondo, se establece fricción nula, es decir $\Gamma = 1$)
- absorción parcial de estructuras

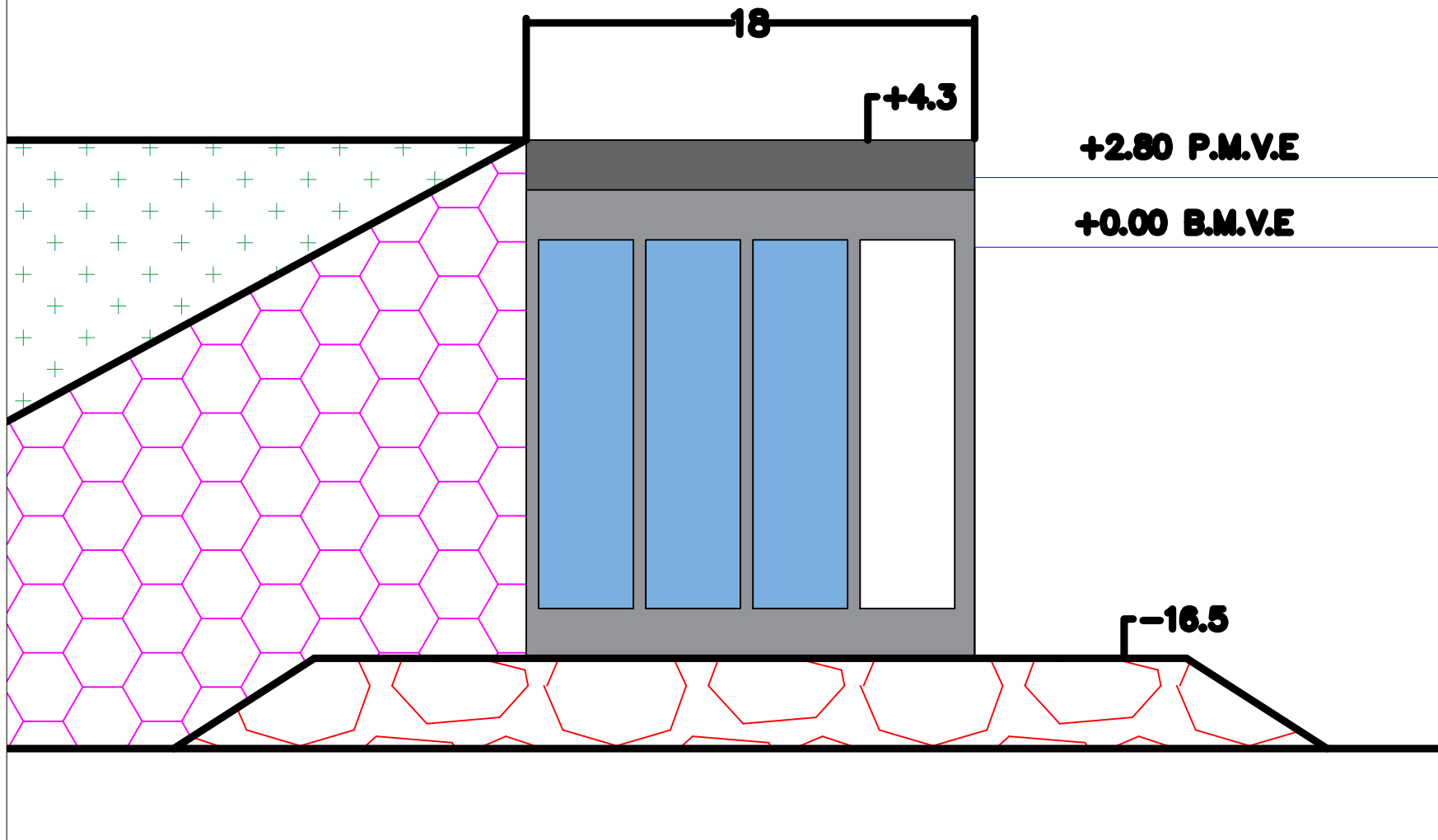
Se subraya que la hipótesis de fricción nula no altera los resultados de propagación de oleaje por viento, pero amplifica las amplitudes de oscilaciones en el periodo largo cuando este coincide con periodo resonante.

ANEJO 2-ESQUEMAS DE LAS DIMENSIONES DE LOS DIFERENTES DIQUES

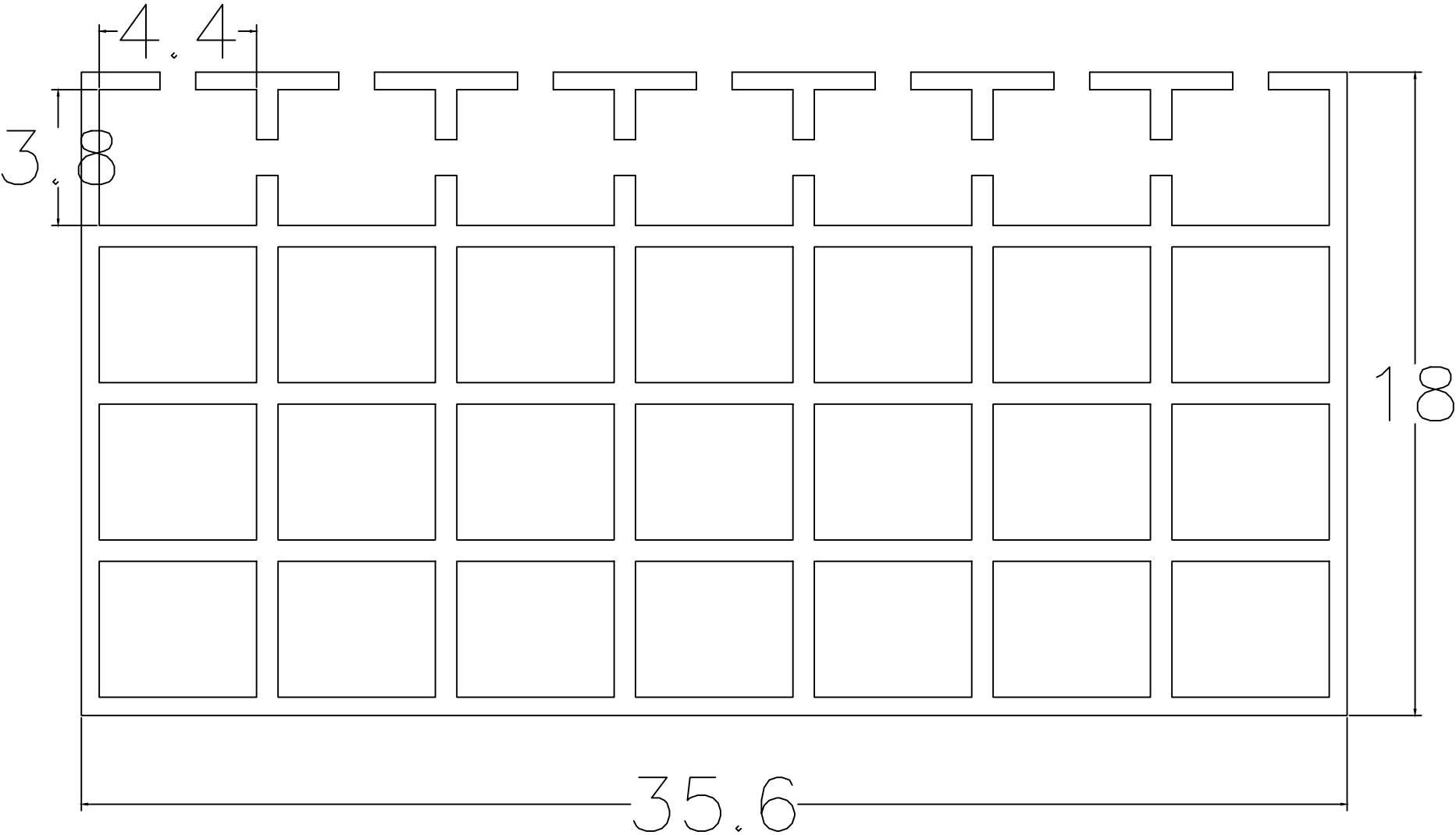
DIQUE VERTICAL



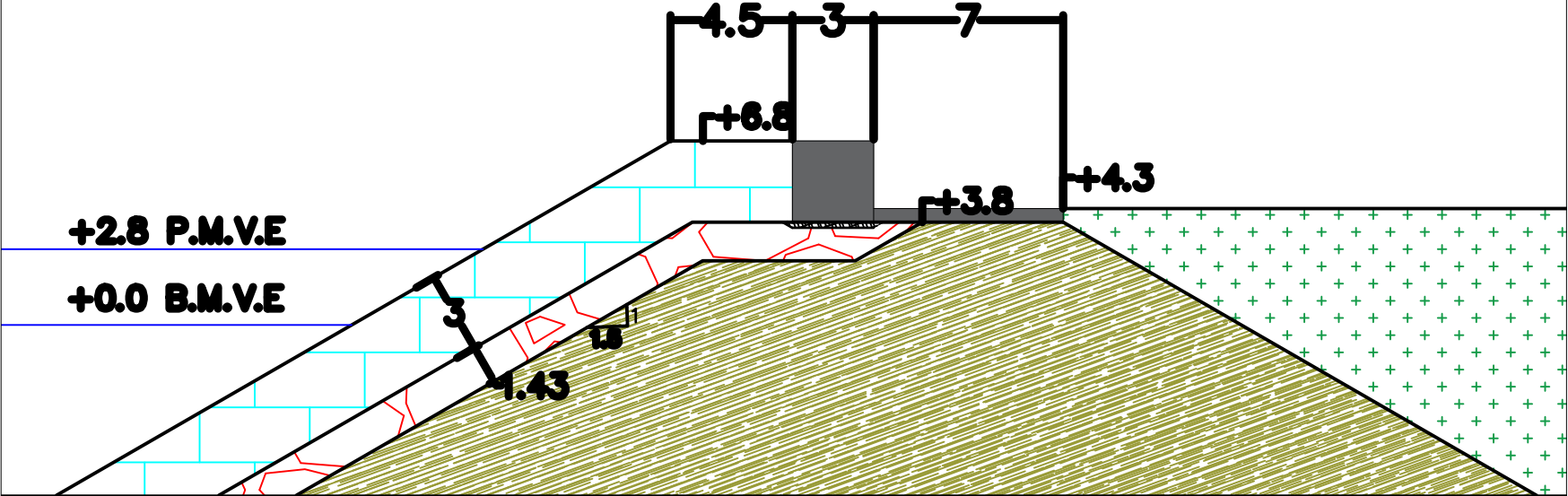
DIQUE VERTICAL DISIPATIVO



CAJON DISIPATIVO



DIQUE EN TALUD



DIQUE EN TALUD-SECCION TIPO CONTRADIQUE

